

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DAS CIÊNCIAS



**A ciência árabe na Europa renascentista: a
tradição *hay'a* e a astronomia europeia**

Inês Noronha Bénard da Costa

Mestrado em História e Filosofia das Ciências

Dissertação orientada por:
Henrique José Sampaio Soares de Sousa Leitão

2019

Agradecimentos

Tenho de agradecer, antes de mais, ao professor Henrique Leitão pela orientação. A disponibilidade, o apoio e a confiança foram fundamentais. A Jomana Alneaj foi uma grande ajuda na leitura dos textos em árabe e eu agradeço-lhe imenso por isso. À Maria Cintra agradeço a leitura, os comentários e a atenção aos detalhes de escrita que foram, sem dúvida, importantes. Devo um agradecimento ao departamento de História e Filosofia das Ciências. Sem iniciativas como o Seminário Permanente de Astronomia Antiga teria sido bastante mais complicado entender questões centrais ao tema da dissertação. Finalmente, agradeço também à família e aos amigos pela paciência, pelas conversas e pela motivação.

Resumo

A descoberta de um conjunto de teorias astronómicas associadas à tradição *hay'a* tem provocado uma polémica em História das Ciências durante os últimos 60 anos. Tratando-se de uma forma de astronomia medieval árabe, semelhante à que Copérnico propôs cerca de 150 anos mais tarde, a sua descoberta implicou a revisão de algumas teorias geralmente aceites. Se, por um lado, se evidenciou uma tradição árabe cujos modelos e mecanismos se distinguiam dos ptolemaicos, por outro, iniciou-se uma discussão sobre a influência que esta tradição teria tido na astronomia europeia. Considerando a relevância atribuída ao astrónomo polaco em narrativas sobre o início da ciência moderna, a polémica tem sido abordada por historiadores de ciências matemáticas, árabes e ocidentais. Partindo das interpretações propostas por alguns destes, assim como de determinadas fontes associadas ao problema, o principal objectivo desta dissertação é desenvolver uma visão crítica acerca da polémica historiográfica. Propõem-se, nesse sentido, dois capítulos: um primeiro, relacionado com a revisão de conceitos centrais, assim como da hipótese de circulação de conhecimento na Europa renascentista; e um segundo, relacionado com uma análise da própria polémica, ou seja, com a procura de entender o que foi a tradição *hay'a*, de que forma esta se assemelha à astronomia copernicana e quais as possibilidades de transmissão ou descoberta independente. Investigando também narrativas sobre o início da ciência moderna, contrastaram-se três abordagens diferentes: uma fundamentalmente matemática, preocupada com a comparação técnica das teorias astronómicas; outra que, baseada na comparação das próprias tradições de astronomia, propõe uma reflexão sobre a possibilidade de transmissão; e uma última que, na ausência de uma prova de transmissão, tem dispensado uma consideração aprofundada sobre a polémica. Concluiu-se, finalmente, que existe uma falta de diálogo principalmente entre a segunda e a terceira abordagem, na medida em que, em algumas das narrativas recentes sobre Copérnico, a “revolução científica”, ou o início da ciência moderna, parecem conhecer a tradição *hay'a* apenas parcialmente.

Palavras-Chave: Hay'a, Copérnico, Astronomia medieval, Astronomia árabe, Circulação de conhecimento.

Abstract

The discovery of several astronomical theories related to the *hay'a* tradition has been motive for a controversy in History of Science for the last 60 years. Being an Arabic medieval astronomy form, similar to the one Copernicus proposed about 150 years later, its discovery implied the revision of some generally accepted theories. If, on the one hand, it was clear that there was an Arabic tradition that proposed models and mechanisms different from the Ptolemaic ones, on the other hand, it launched a discussion concerning the influence this tradition might have had in European astronomy. Considering the importance given to Copernicus by narratives relating to the beginning of modern science, the controversy has been approached by historians of mathematics, Arabic and Occidental science. Taking into account the interpretations proposed by some of those historians, as well as some of the texts related to the historiographical problem, the main purpose of this dissertation is to develop a critical view concerning the controversy. In order to achieve this, two chapters were proposed: a first chapter, related to the revision of the central concepts, as well as the idea of knowledge in circulation in Renaissance Europe; and a second, about the controversy itself – that is, the understanding of *hay'a* tradition, the ways in which it resembles Copernican astronomy; and the possibilities of both knowledge transmission and independent discovery. By also looking into interpretations in narratives concerning the beginning of modern science, it was possible to distinguish three different approaches: one essentially mathematical, mainly focused on the technical comparison of the astronomical models; another which, based on the comparison of the astronomical traditions in question, proposes a reflection about the possibility of knowledge transmission; and a third that, supported by the absence of a definitive proof, dismisses a significant consideration about the controversy. It was concluded that there was a lack of dialogue, especially between the two latter approaches, in the sense that some of the narratives concerning Copernicus, the scientific revolution or the beginning of modern science seem to take *hay'a* tradition in consideration only partially.

Keywords: Hay'a, Copernicus, Medieval astronomy, Arabic astronomy, Knowledge circulation.

Índice

Introdução	1
Capítulo 1: Ciência árabe na Europa renascentista: conceitos centrais e um problema historiográfico.....	5
Capítulo 2: A tradição <i>hay'a</i> e a astronomia copernicana	21
Conclusão.....	73
Bibliografia.....	79
Glossário	86
Sobre as Traduções.....	92
Anexos	
O par-de-Tūṣi.....	93
O modelo Planetario de Mu'ayyad al-Dīn al-Urdī.....	101
O modelo da Lua de Ibn al-Shāṭir	109
O modelo de Mercúrio de Ibn al-Shāṭir	119

Introdução

Durante a segunda metade do século XX, um conjunto de descobertas associadas àquela que mais tarde se veio a propor como uma nova tradição de astronomia árabe deu origem a uma polémica em história das ciências. Edward Kennedy, Victor Roberts e Otto Neugebauer encontraram, num tratado do astrónomo damasceno Ibn al-Shāṭir, ابن الشاطر, (1300-1360), um modelo para o movimento da Lua bastante semelhante ao que Copérnico propôs em 1543. Depois de publicada a descoberta em 1956, seguiu-se uma investigação, na qual vários historiadores procuraram aprofundar, primeiro, o contexto científico e cultural em que Ibn al-Shāṭir se inseria; depois, o grau de proximidade entre os seus modelos e os de Copérnico; e, finalmente, a possibilidade destes terem chegado à Europa e, conseqüentemente, influenciado o astrónomo polaco. A última questão ainda está por responder. No entanto a investigação permitiu concluir que, além de Ibn al-Shāṭir, existiam dois outros astrónomos árabes cujo trabalho também se assemelhava ao encontrado no *De revolutionibus*. No final do século XX sabia-se que os modelos para os movimentos dos planetas em longitude apresentados no livro de Copérnico, assim como dois dos mecanismos aplicados, eram equivalentes a outros árabes, produzidos durante o período medieval tardio. Aprofundando a questão um pouco mais, foi possível perceber que os novos modelos não estavam limitados ao trabalho de três astrónomos, mas que se inseriam no contexto de uma nova disciplina chamada *hay'a* (هيئة) – uma tradição de astronomia, até aí desconhecida aos historiadores, que parece ter começado durante o século XI. Além das questões que evidentemente coloca aos especialistas de ciência árabe, a descoberta da disciplina levanta um problema aos historiadores de ciência ocidental. Aceitando a possibilidade de transmissão textual, levanta-se uma questão relativamente ao modo como Copérnico terá sido influenciado pela astronomia árabe. Copérnico não só foi o primeiro astrónomo a formular uma teoria completa sobre o heliocentrismo e o movimento da Terra, mas tem sido descrito como o primeiro a elaborar teorias matemáticas realistas, que não se limitassem a descrever, mas explicassem também os fenómenos naturais através de determinados teoremas e modelos geométricos. Seguindo a tradição clássica, o que se esperava dos astrónomos era a construção de modelos teóricos descritivos dos movimentos celestes. A questão acerca das causas que os provocavam, ou do modo com que aconteciam realmente colocava-se aos filósofos. É com base nestas duas grandes inovações – o heliocentrismo e o realismo em matemática – que se tem entendido a astronomia copernicana como bastante relevante para o início da ciência moderna.

Considerando, agora, a descoberta dos modelos e mecanismos árabes do período medieval tardio, de que forma será possível relacioná-los com o trabalho de Copérnico? Não existindo nenhuma prova que o confirme, será também possível admitir-se que tenham chegado

à Europa? Em qualquer dos casos, que lugar se atribui à nova tradição de astronomia árabe numa grande narrativa sobre a origem da ciência moderna? Partindo das interpretações formuladas por vários historiadores e em algumas das fontes mencionadas, esta dissertação tem como principal objectivo a compreensão da polémica historiográfica em torno da tradição *hay'a*.

O primeiro capítulo propõe uma definição e justificação de vários conceitos centrais ao tema, assim como a exposição de um problema historiográfico que lhe está associado. Aceita-se que existe uma ciência moderna que terá resultado de um conjunto de transformações na Europa entre 1400 e 1750. Floris Cohen, partindo de uma abordagem mais científica, justifica-o com “three revolutionary transformations”¹ e Toby Huff², noutra mais sociológica, com base em vários argumentos culturais e institucionais. Aceita-se também que, apesar da atribuição geográfica, este início da ciência moderna não se trata de um fenómeno exclusivamente europeu, no sentido em que terá recebido contribuições externas. As últimas grandes narrativas mais aprofundadas sobre o tema justificam-no pelo facto de incluírem, necessariamente, contributos de outras culturas, nomeadamente a árabe. Ciência, finalmente, entende-se como a “interaction of humans with their natural environments and their aspiration to understand it”³ e a atribuição de características linguísticas ou culturais à mesma não tem como objectivo estabelecer fronteiras sólidas, mas possibilitar a colocação de determinadas descobertas, práticas e objectivos num determinado cenário.

Aponta-se ainda um problema historiográfico no estudo da transmissão de conhecimento árabe para a Europa durante o Renascimento: a supressão de textos por parte de alguns humanistas. Num estudo publicado em 2016, Dag Nikolaus Hasse procurou evidenciar um movimento de propaganda anti-árabe. Este, motivado não por questões científicas, mas ideológicas, terá promovido, entre os séculos XIV e XVI, a exclusão de textos científico-filosóficos árabes dos programas das respectivas disciplinas. Mantendo as informações técnicas, mas omitindo e criticando a referência a autores árabes, não é clara a relevância que estes textos terão tido no trabalho de vários humanistas. Hasse evidenciou um problema historiográfico, cuja dimensão é provavelmente impossível de determinar. Apesar de alguns textos terem regressado aos programas curriculares depois de um determinado período, muitos terão sido perdidos. Considerando ainda o movimento de supressão em textos que já circulariam na Europa, coloca-se uma questão sobre o efeito do mesmo movimento na chegada de novos textos árabes.

É considerando o sentido de conceitos centrais ao tema – o início da ciência moderna, circulação de conhecimento e ciência árabe ou ocidental – assim como a existência de um movimento de supressão textual, que se apresenta o capítulo central da dissertação. Com ele

¹ Cohen, 2010, p.157

² Huff, 2017

³ Smith, 2009, p. 346

propõe-se uma análise da polémica historiográfica relacionada com a descoberta da tradição *hay'a*. Com uma primeira parte, propõe-se uma descrição do modo através do qual os historiadores, partindo da descoberta de modelos astronómicos, encontraram uma nova tradição astronómica árabe. Pretende-se sobretudo entender de que forma esta se distingue das restantes e em que sentido é que os próprios termos “tradição” ou “disciplina” lhe são aplicados. Numa segunda parte, de forma a possibilitar a compreensão de alguns dos argumentos formulados em defesa quer da dependência, quer da independência de Copérnico, apresenta-se a análise e comparação dos modelos ptolemaicos, árabes e copernicianos. Além das semelhanças e diferenças mais técnicas, espera-se compreender também os motivos que terão levado os astrónomos a construir estes modelos. Por fim, não existindo nenhuma prova de que as teorias árabes medievais tenham, de facto, chegado até Copérnico, a última parte deste capítulo propõe uma análise dos principais argumentos formulados contra e a favor das hipóteses de transmissão, levantadas por alguns historiadores.

Finalmente, o que se pretende sobretudo com a análise quer das interpretações formuladas pelos historiadores, quer de algumas das fontes mencionadas, é conseguir-se uma visão crítica acerca da polémica em torno da tradição *hay'a*. O tema é bastante complexo e, como tal, pode ser analisado de várias formas. Aqui, numa dissertação de mestrado, procurou seguir-se uma abordagem associada ao campo da história das ciências, que propõe a entrada num problema historiográfico também a partir do domínio dos textos técnicos. Analisando-os e tentando compreender não só o que produziram, mas o que queriam produzir, será possível entenderem-se e considerarem-se as interpretações propostas pelos historiadores. A abordagem tem, evidentemente, algumas limitações. Apesar de mencionadas instituições nas quais a tradição *hay'a* terá sido desenvolvida, não será apresentado nenhum estudo aprofundado acerca das mesmas e das condições que a teriam promovido durante vários séculos. Também não se incluirá nenhuma reflexão sobre a relação que esta tradição teria quer com a religião, quer com a filosofia, a qual seria bastante interessante tendo em conta a falta de consenso entre os historiadores⁴. Procurou-se ter em atenção, no entanto, a heterogeneidade das várias comunidades em todo o território árabe relativamente ao tempo e ao espaço. Durante o período de cerca de cinco séculos, em que a *hay'a* se foi desenvolvendo, a área geográfica em questão foi dominada por uma grande diversidade de regimes políticos que, embora, de certa forma, orientados por uma religião, seguiam correntes filosóficas e teológicas distintas. Por esse motivo, sempre que possível, foram

⁴ Ragep, 2001, p. 49.: “Although there has been some serious scholarship on the relation between science and religion in Islam, such work has made barely a dent in either the general accounts or the general perceptions of that relationship. These latter continue to be characterized by reductionism, essentialism, apologetics, and barely masked agendas.”

atribuídas datas e locais a nomes ou teorias que estivessem a ser analisados, facilitando a contextualização por parte do leitor.

Os textos e excertos árabes incluídos estão associados ao problema historiográfico e foram traduzidos por mim, excepto quando referido o contrário. Em anexo, encontram-se quatro textos associados aos modelos e mecanismos descritos no segundo capítulo: o primeiro é um excerto do modelo de al-'Urđī para os planetas superiores; o segundo, é a demonstração do par-de-Tūṣi no tratado *al-Tadhkira*, التذكرة, (1261); o terceiro, é um excerto do capítulo nono do tratado *Nihayat al-Sul*, نهاية السؤل, onde Ibn al-Shāṭir descreve o modelo da Lua; e o último é o capítulo 21, do mesmo tratado, onde o astrónomo descreve o modelo de Mercúrio.

Capítulo 1

Ciência árabe na Europa renascentista: conceitos centrais e um problema historiográfico

Uma das grandes questões em história das ciências desde que foi definida como disciplina no princípio do século XX, é a origem da ciência moderna. Apesar da complexidade do tema poder resultar em respostas que ocorrem em tempos e espaços diferentes, dependendo dos fenómenos históricos aos quais se atribui mais ou menos relevância, é geralmente aceite que a filosofia, as práticas e as instituições nas quais a ciência se baseou até ao século XV, são muito distintas daquelas que se foram desenvolvendo, na Europa, a partir da segunda metade do século XVIII. Neste sentido, independentemente da relevância de acontecimentos que possam ter ocorrido mais tarde, a origem da ciência moderna, pelo menos em parte, tem sido colocada entre 1400 e 1750, no período “early modern”⁵. Reconhecendo esta mudança, o que tem vindo a ser procurado por vários historiadores são fenómenos, pessoas ou teorias lhe possam ter estado associados, ou seja, explicar de que forma determinados acontecimentos a podem ter influenciado.

A *Copernican revolution*⁶ e a *Structure of scientific revolutions*⁷, publicadas por Thomas Kuhn em 1957 e 1962 respectivamente, vieram propor que a ciência moderna teria resultado da adopção de um paradigma científico novo, motivado pelo corte com o anterior. Não tendo esta dissertação como objectivo uma descrição exhaustiva da teoria, pretendem-se realçar apenas dois pontos em que esta contrasta com a positivista: primeiro, a própria ideia de revolução, segundo a qual o desenvolvimento da ciência estaria associado não a processos graduais, mas cíclicos; depois, a sugestão de que as escolhas dos cientistas, em relação a práticas ou teorias, não se fundamentavam apenas em factores internos às mesmas, mas também em sistemas de valores que os cientistas teriam formado durante a própria educação. Ciência, no entanto, continuava a ser abordada como uma actividade limitada a um grupo de especialistas, de uma determinada classe social, e o início da ciência moderna como um fenómeno limitado a um grupo definido de protagonistas, que terá começado com o *De revolutionibus* de Copérnico (1543) e terminado com os *Philosophiae naturalis principia mathematica* de Newton (1687).

⁵ Smith, 2009, p. 345

⁶ Kuhn, 1957.

⁷ Kuhn, 1962.

Além do corte com o positivismo anterior, a importância da *Estrutura das revoluções científicas* está associada ao impacto que criou nos filósofos e historiadores posteriores. Depois dos anos 60, em parte pela influência de Kuhn, o contexto socioeconómico foi-se tornando cada vez mais determinante para a compreensão das escolhas e conclusões dos cientistas. A própria concepção de ciência foi alargada de forma a admitir participantes de classes sociais e culturas diferentes; e a objectividade das práticas e conclusões, também pelo valor atribuído ao contexto, começou a ser questionada. Como resultado, desenvolveram-se movimentos e teorias em história e a filosofia das ciências – como a corrente sociológica, a viragem material ou a filosofia feminista – que tinham como objectivo inicial aprofundar abordagens até aí marginalizadas. Face às descobertas, discussões e propostas que caracterizaram os últimos anos, a ideia de uma revolução copernicana começou a perder força para promover não uma, mas várias narrativas que se propusessem a elucidar, em parte, o processo de transformação da ciência entre os séculos XVI e XVIII. Palmela Smith reforçou esta questão em 2009, quando apontou várias “Recent trends in the history of early modern science”:

“The last generation has been an exciting time to come of age in the history of science: the field has definitively emerged from its beginnings in the history of philosophy, intellectual history, and the discrete history of sciences written by and for their practitioners, to offer answers to this question [i.e. what has modern science to do with the early modern period] that are more complex, less modern, less triumphal, and less Eurocentric.”⁸

Numa tentativa de construir narrativas mais amplas sobre o início da ciência moderna, a questão que, aqui, se coloca é de que forma se poderão incluir perspectivas não eurocêntricas. Para que seja possível reflectir-se sobre uma resposta, é necessário considerarem-se, antes, os motivos socioculturais, filosóficos e científicos pelos quais esse início tem sido associado a uma transformação da ciência na Europa. Numa abordagem mais internalista, Floris Cohen propôs um conjunto de “three revolutionary transformations”⁹: em primeiro lugar, a representação matemática da realidade, ou seja, a ideia de que os fenómenos naturais podem ser explicados a partir de teoremas e princípios matemáticos. De acordo com Cohen, esta transformação terá sido desenvolvida principalmente por Kepler e Galileu, dois matemáticos que terão partido do realismo que já se encontrava, em menor grau, no trabalho de Copérnico. “When these two men were done, they had delved up from the deep core components of a new astronomy and a new conception of motion on Earth, respectively”¹⁰. Em segundo lugar, uma visão corpuscular-cinémática da natureza, isto é, a ideia de que a realidade é constituída por partículas minúsculas em constante movimento. Esta visão terá começado também com Isaac Beeckman e Pierre Gassendi, mas foi

⁸ Smith, 2009, p. 345

⁹ Cohen, 2010, p. 157.

¹⁰ Cohen, 2010, p. 160.

principalmente desenvolvida por Descartes. “Together with some more marginal figures they brought about a revolutionary transformation in natural philosophy”¹¹. Em terceiro lugar, finalmente, o empirismo como prática científica, isto é, a produção de conhecimento através da experiência. “[F]our men, each operating in a distinct branch of learning, brought about the feat of transformation itself: Francis Bacon, William Gilbert, William Harvey, and Jean Baptiste van Helmont”¹². Numa abordagem sociológica, que pode ser entendida como complementar à de Cohen, Toby Huff acrescentou que o início da ciência moderna esteve relacionado com o “rise and institutionalization of (...) three enormously empowering principles”¹³: a crença de que a natureza tem uma ordem, “an all-encompassing, coherent, orderly, and predictable domain”¹⁴; a crença de que os seres humanos têm a capacidade de a perceber; e de que é permitido a todos os homens e mulheres questionarem quaisquer formas de verdade, “including religious, political, ethical, and even science's own claims”¹⁵. Huff propôs que estes três princípios – que não se encontrariam noutras culturas como a chinesa ou a árabe – não só estavam culturalmente presentes na Europa durante o Renascimento, como eram promovidos pelas universidades, uma instituição relativamente independente das autoridades políticas ou religiosas, “with a broad set of legal rights (including self-governance)”¹⁶. Aceitando as propostas dos dois autores, de que um contexto sociocultural e institucional, favorável ao estudo de várias disciplinas científico-filosóficas, terá permitido um conjunto de avanços e transformações na ciência ocidental, é então possível entender-se a proposta de que a ciência moderna terá originado na Europa.

Considerando tanto a transformação que a ciência ocidental sofreu entre os séculos XV e XVIII, como os protagonistas apontados por Kuhn e Cohen, pretende entender-se se esta terá sido um fenómeno completamente europeu. O desenvolvimento de perspectivas associadas a contextos não ocidentais em história das ciências tem sugerido que não. Joseph Needham foi provavelmente um dos primeiros historiadores a propor, em 1954, um estudo aprofundado sobre a *Science and civilization in China*; e, mais recentemente, foram publicados outros, como a *Histoire des Sciences Arabes*, editada por Rosdhi Rashed em 1997. Investigando a história de teorias cuja transmissão era conhecida, e encontrando outras cujos objectivos e resultados eram paralelos em contextos culturais distintos, estes estudos propuseram o que Arun Bala chamou de “dialogical account”¹⁷ do início da ciência moderna. O que se propõe, segundo Bala, é um

¹¹ Cohen, 2010, p. 222.

¹² Cohen, 2010, p. 246.

¹³ Huff, 2017, p. 9.

¹⁴ Huff, 2017, p. 8.

¹⁵ Huff, 2017, p. 8.

¹⁶ Huff, 2017, p. 13.

¹⁷ Bala, 2006, p. 26.

conjunto de narrativas que “acknowledges both the multicultural roots of modern science and its achievement as a creation by Europeans within Europe”¹⁸. De que forma?

Parte da solução parece estar associada à ideia de circulação de conhecimento, que tem sido aplicada por vários historiadores em contextos que podem variar desde a divulgação científica até ao encontro de tradições diferentes. Sendo que estes temas incluem formas de produção de conhecimento distintas, para que seja possível entenderem-se os processos e resultados da sua circulação, é necessária uma revisão do conceito de ciência. Aceitando as propostas de James Secord¹⁹ e Smith, e definindo-a como “the interaction of humans with their natural environments and their aspiration to understand it”²⁰, cuja prática estará, consequentemente, dependente dos locais onde for pensada e comunicada, então será possível entender que a sua circulação, em diferentes grupos ou comunidades, a possa modificar. O mesmo fenómeno encontra-se entre os séculos XIV e XVI, quando considerados os movimentos de pessoas, objectos, instrumentos, técnicas e ideias, provocados pelas relações políticas e económicas entre sociedades diferentes. “Knowledge moved along with trade: with individuals as they migrated, or were resettled in new territories, and with sailors, soldiers and merchants as they pursued trade and war”²¹. Com circulação propõe-se, então, não que o conhecimento se terá difundido de um ponto de partida para outros de chegada, mas que terá sido constantemente produzido e reformulado em função dos espaços com os quais ia interagindo. Procurar perspectivas não eurocêntricas que ajudem a entender as transformações associadas ao início da ciência moderna justifica-se, visto que a tradição científica europeia não terá sido um corpo isolado, mas influenciado por outras tradições. A compreensão das questões que estas últimas colocaram, assim como das formas através das quais se propuseram a responder-lhes – promovida pelo diálogo entre historiadores especializados em áreas, sociedades e períodos diferentes – tem permitido a revisão e, por vezes, reformulação de algumas teorias históricas.

Aprofundando o estudo sobre circulação de conhecimento, a percepção de que a maioria das tradições científicas não pode ter resultado apenas da ciência produzida pela própria cultura, mas também de influências externas determinantes, tem levado alguns historiadores a questionar a legitimidade de adjectivos linguísticos, civilizacionais ou culturais ao termo ciência. Seria mais apropriado considerar-se apenas uma forma de ciência, cujas questões e conclusões variariam consoante as diferentes sociedades? Ou termos como clássica, árabe, ocidental, chinesa, etc. ainda são apropriados para distinguir tradições científicas? Esta questão foi levantada por George Saliba em 1999, a propósito da transmissão de textos árabes para a Europa durante o renascimento –

¹⁸ Bala, 2006, p.26.

¹⁹ Secord, 2004.

²⁰ Smith, 2009, p.346.

²¹ Smith, 2009, p. 368.

“whose science is the science contained in that (...) manuscript?”²² – e, mais recentemente, em 2018, por Silke Ackermann a propósito de instrumentos científicos:

“If the presence of Arabic on an object is the decisive factor, what do we make of an intriguing (European-type) inclining sundial, that from a stylistic point is likely to date from late 18th century Persia, (...) but whose hour ring is marked with what is referred to as highly stylized Arabic numerals for the Ottoman market (...), a clear indicator that at least this part is not Islamic but produced by a European maker? (...) How do we describe these objects on a museum label? What do our public(s) take them to be?”²³

A atribuição de valores culturais pode ser problemática em algumas formas de ciência se, com ela, se pretenderem definir fronteiras sólidas que distingam as diferentes tradições científicas. Caso contrário, se admitidas “blurred borders”²⁴, estes critérios adquirem um valor prático em história das ciências, na medida em que permitem associar determinados acontecimentos a grupos de pessoas que partilham fundamentalmente os mesmos valores, crenças, práticas e costumes. Quando aplicados com o devido cuidado, de forma a evitar tendências nacionalistas ou tons essencialistas, criam ainda o que Dag Nikolaus Hasse chamou de “historical fairness”²⁵, ou seja, o reconhecimento daquilo que determinadas pessoas, “and not others”, conseguiram perceber e produzir. “Such fairness (...) becomes pivotal whenever we see that the historical contribution of individuals and cultures has been largely lost from memory, or even suppressed, for an extended period of time”²⁶.

Assumindo, então, que uma parte da origem da ciência moderna pode ser colocada na Europa entre os séculos XIV e XVIII e que, tendo existido circulação de conhecimento, essa origem se deve também a contribuições de outras tradições científicas, um dos objectivos desta dissertação é analisar de que forma alguns historiadores têm considerado a influência que a ciência árabe pode, ou não, ter tido na Europa durante o renascimento. Para que tal seja possível, é necessária uma breve explicação do que, aqui, se entende por ciência clássica, árabe e europeia/ocidental, reforçando, novamente, que estas distinções não têm como finalidade a atribuição de fronteiras sólidas entre as três. Ciência, segundo a definição apresentada em cima, é considerada um fenómeno cultural no sentido em que os seus resultados, práticas, propostas e objectivos estão sempre inseridos na cultura que os promove. Aplicando-lhe o termo *clássica*, refiro-me à tradição científico-filosófica no período helénico, ou seja, entre os séculos IV a.C e IV d.C.. O termo *Árabe*, é aplicado à cultura “centred on a lettered tradition (...) and which has been naturally shared in by both Muslims and non-Muslims”²⁷, em sociedades onde o Islão seria

²² Saliba, G. (1999)

²³ Ackermann, 2018, p.5.

²⁴ Saliba, 1999.

²⁵ Hasse, 2016, p. 294.

²⁶ Hasse, 2016, p. 294

²⁷ Hodgson, 1977, p. 58.

a religião partilhada quer pela maioria da população, quer pelos seus governantes. Vários historiadores mencionados nesta dissertação têm-se referido à mesma cultura com o termo *islâmico/a*. Uma vez que este último também se aplica àquilo que se relaciona directamente com o Islão, optou-se, aqui, pelo uso de *árabe*. Com *ocidental* ou *uropeu* entende-se o complexo sociocultural das sociedades que formavam o que, a partir do século XV, se começou a entender como Europa – antes, como “christendom”²⁸ – onde a religião dominante seria o cristianismo. Da mesma forma que esta última não limita a própria produção de textos à língua latina, a tradição árabe também não a limita à língua árabe.

Finalmente, procurando interpretações sobre a relevância que a tradição científico-filosófica árabe terá tido na Europa, durante o Renascimento, percebe-se uma relativa falta de atenção historiográfica. O facto de as referências a esta tradição não só começarem a diminuir, mas serem criticadas por vários autores renascentistas, parece sugerir uma falta de contacto entre as duas culturas. O mesmo não acontece relativamente à época medieval, quando a disponibilização de vários textos pelos movimentos de tradução, primeiro no sul de Espanha e depois no sul de Itália e na Sicília, tornou a ciência árabe relevante para o desenvolvimento de várias disciplinas. “[T]here was a strong impact on medicine, astrology, astronomy, trigonometry, algebra, zoology, and the occult sciences, but less influence on other sciences, such as geometry and botany”²⁹. A partir do século XV, no entanto, a tradição científico-filosófica começou a ser abordada por vários humanistas europeus forma diferente. Importa especificar que “humanismo”, nesta dissertação, é um conceito que segue as interpretações de Paul Oskar Kristeller e Francisco Rico. Refere-se à corrente intelectual promovida entre os séculos XIV e XVI, primeiro em Itália e depois noutros países da Europa, pelo movimento escolástico e literário de professores e alunos das humanidades, *studia humanitatis*, nas quais Kristeller incluiu a gramática, retórica, história, poesia e filosofia moral³⁰. Sendo que a complexidade do termo tem permitido abordagens e perspectivas diferentes, Francisco Rico, neste contexto, propôs ainda que

“la estirpe más ilustre del humanismo, la más rica en ideas (no en meras recetas), defendió siempre que el fundamento de toda a cultura debía buscar-se en las artes del lenguaje, profundamente asimiladas merced a la frecuentación, el comentario y la imitación de los grandes autores de Roma y de Grecia; que la lengua y la literatura clásicas, dechados de claridad y belleza, habían de ser la puerta de entrada a cualquier doctrina o quehacer dignos de estigma, y que la corrección y la elegancia del estilo (...) constituían un requisito de toda tarea intelectual.”³¹

²⁸ Nancy, 2017, p.34. “It has been shown that Europe was not a widely used term before the fifteenth century”

²⁹ Hasse, 2016, p.5.

³⁰ Kristeller, 1978, pp.589: “The first explicit definition of the *studia humanitatis* that has been found so far comes from the second quarter of the fifteenth century and appears in a library canon prepared by the later Pope Nicholas V for Cosimo de' Medici: *grammatica, rhetorica, historica, poetica ac moralis*.”

³¹ Rico, 2002, p.19.

Desta forma, ao contrário de se limitar às humanidades mencionadas em cima, o humanismo influenciou também disciplinas científicas e filosóficas, na medida em que defendia que toda a produção de conhecimento dependeria da eloquência e domínio do discurso, encontrados anteriormente em textos do período helénico. Como consequência deste apelo, por um lado à antiguidade clássica e, por outro, ao “retorno de las buenas letras”³², os textos medievais, da “edad media”³³, começaram a ser desvalorizados logo no século XIV, por humanistas como Petrarca (1304-1374). Tendo em conta o impacto que esta corrente intelectual terá tido em diversas áreas científicas e filosóficas a partir do século XV, historiadores como Cohen têm considerado o humanismo e o renascimento como os períodos em que as tradições científicas – europeias e árabes – se terão desassociado³⁴.

Reconhecendo, por um lado, a desvalorização de que as ciências árabes foram alvo por parte de alguns humanistas, por outro, é também “clear that there was an awareness of the Arabic scientific traditions in Europe among Renaissance intellectuals”³⁵. Copérnico, por exemplo, mesmo tendo de mencionar alguns contributos de astronomia árabe, parece não atribuir muita relevância aos próprios astrónomos:

“Portanto [outros] pensam que daqui se segue que a distância do Sol à Terra, no seu apogeu, é de 1146 unidades (...), atribuindo esta conclusão ao filósofo Albaténio de Raqqa, a que não pode, contudo, ligar-se de modo nenhum.”³⁶

A questão que se pretende aprofundar é se “these traditions [were] in any way central to Renaissance culture”³⁷. Não existe nenhuma resposta consensual. Se, por um lado, autores como Juan Vernet ou Saliba³⁸ têm sugerido que sim, por outro, Sylvain Gouguenheim ou Hillel Ofek têm alertado para a tendência de se sobrevalorizar uma tradição científica por questões simplesmente políticas:

“Contemporary Islam is not known for its engagement in the modern scientific project. But it is heir to a legendary “Golden Age” of Arabic science frequently invoked by commentators hoping to make Muslims and Westerners more respectful and understanding of each other.”³⁹

³² Rico, 2002, p. 23.

³³ Rico, 2002, p.23.

³⁴ Cohen, 1994, p. 87: “After the western Europe had originally lagged far behind the Arabs, had caught up in Renaissance and finally captured a definitive edge through the Scientific Revolution (...)”

³⁵ Hasse, 2016, p.7.

³⁶ Copérnico, 2014, p.389.

³⁷ Hasse, 2016, p. 7.

³⁸ Vernet, 1999; Saliba, 2007.

³⁹ Ofek, 2011, p. 3 ; Ver também Gouguenheim, 2008, p. 15: “Sous l’influence de l’actualité, le sujet a pris une dimension politique. Les enjeux, on le devine, ne sont pas minces en ce début de XX^e siècle. Ils s’inscrivent dans le long face-à-face entre l’Islam et L’Occident (...). C’est pourquoi, à l’heure où l’on se propose de rectifier les manuels

Um dos estudos mais recentes sobre a relevância da ciência árabe na Europa renascentista é a de Hasse em *Success and Suppression*⁴⁰. Começando por procurar em edições impressas e currículos universitários, o autor defende desde o princípio do livro que a tradição científica árabe ainda estaria bastante presente na Europa durante este período. Foram encontradas edições de 44 autores árabes antes de 1700, entre as quais 114 eram de Averróis (Ibn Rushd; ابن رشد), 78 de Avicenna (Ibn Sina; ابن سينا), 72 de Mesue e Pseudo-Mesue (Ibn Māsawayh; ابن ماسويه) e 67 de Rhazes (Ibn Zakarīyā' ar-Rāzī; ابن زكرياء الرازي)⁴¹. Estes números tornam-se significativos se se lembrar que “a good number of twelfth - and thirteenth-century Latin authors who are famous today were transmitted very badly in early prints. Peter Abelard, for example, received only one edition (1616), Roger Bacon only two (1614 and 1618)”⁴². A estes dados acrescentam-se ainda os de Saliba em relação à Medici Oriental Press (1584-1614)⁴³, uma editora que, embora tivesse como principal objectivo a disponibilização de material de apoio à propaganda cristã no oriente, publicou 3000 cópias de uma recensão dos *Elementos* de Euclides produzida pelo astrónomo Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī (نصير الدين الطوسي) e 940 do Canon de medicina de Avicenna. Especialmente relevante em relação a estes livros é não tanto tratarem de ciência árabe, mas terem sido publicados na língua original. Considerando, por um lado, que “there was little hope that it could be sold in the east, where it originated, and still existed in several manuscripts”⁴⁴, e, por outro, a importância que o humanismo atribuiu à filologia e à linguagem, Saliba propôs que estes livros se direccionassem a um mercado europeu especializado.

Analizando os currículos universitários do século XV, concluiu-se ainda que maioria dos autores incluídos era grega e árabe e a minoria latina – na qual se destacaram Petrus Hispanus em lógica e Sacrobosco em astronomia. O ensino de medicina baseava-se apenas em textos de Galeno, Hipócrates, Avicenna, Averrois e Rhazes; em farmacologia, tanto dentro como fora das universidades, Pseudo-Mesue, Avicenna e Pseudo-Serapion encontravam-se entre as maiores referências; e em astronomia, óptica e aritmética, embora o ensino se apoiasse principalmente em textos latinos, “these texts relied heavily on the works of Alfraganus [Ibn Kathīr al-Farghānī; بن كثير الفرغاني] in astronomy, Alhazen [Ibn al-Ḥasan ibn al-Haytham; ابن الحسن بن الهيثم] in optics, and Alcoarismi [Ibn Mūsā al-Khwārizmī; ابن موسى الخوارزمي] in arithmetic”⁴⁵.

A mudança em relação à recepção dos textos científico-filosóficos árabes tornou-se particularmente evidente no início do século XVI, quando várias universidades os retiraram dos

scolaires afin de rappeler la place d’islam dans le patrimoine européen comme y invite un rapport récent (2002) de l’Union européenne, une tentative de clarification est apparue nécessaire.”

⁴⁰ Hasse, 2016.

⁴¹ Hasse, 2016, p.8.

⁴² Hasse, 2016, p.9.

⁴³ Saliba, 1999.

⁴⁴ Saliba, 1999

⁴⁵ Hasse, 2016, p. 23.

próprios currículos. De acordo com Hasse, a proposta e aplicação destas reformas parece ter estado associada a uma propaganda anti-árabe por parte de humanistas como Jean Ruel (1474-1537), Leonarhart Fuchs (1501-1566), Gregor Reisch (1467-1525) ou Albert Pigghe (1490-1542), que condenavam a ciência árabe com base, principalmente, em três factores: “linguistic corruption, plagiarism, and irreligion”⁴⁶. Embora o terceiro se dirigisse principalmente contra Averróis, mais especificamente contra a teoria da unicidade do intelecto⁴⁷, os dois primeiros baseiam-se na ideia de que “the true and superior knowledge lies with the ancient sources, and not with subsequent cultures”⁴⁸. Inferia-se, deste princípio, não só que nada poderia ter sido adiantado pelos autores árabes, como que a transmissão linguística dos textos os corrompia. Acreditava-se que o acesso ao conhecimento verdadeiro passaria necessariamente pelas fontes clássicas, as quais deveriam ser analisadas o mais próximo do original possível, ou seja, em grego.

“On this issue, modern scholars have often been too impressed by the humanist polemics against Arabic authors and by their dramatic call for a return to the Greeks. As a consequence, it was readily believed that Arabic theories deserved to be rejected and that humanists in general had a hostile attitude toward the Arabic traditions in Europe.”⁴⁹

É importante salientar, contudo, que, apesar da propaganda contra autores árabes ter sido relativamente bem-sucedida ao retirá-los de vários currículos universitários, os humanistas que a apoiavam não representam a totalidade dos humanistas europeus do século XVI. Da mesma forma que se encontram apoiantes, encontram-se também opositores – e aqui Guillaume Postel (m. 1581) é um exemplo mencionado tanto por Hasse como por Saliba. Além deste, que era professor matemática e de línguas orientais no L’Royal Institut, em França, também o físico inglês Richard Argentine (m. 1568) “made a plea for the restoration of the study of Arabic at Oxford and Cambridge”⁵⁰; o humanista Jacob Christmann (1554-1613) “asked the Count Palatine Johann Kasimir to establish a chair of Arabic so that philosophy and medicine might be learned from the original Arabic sources”⁵¹; e Zacharias Rosenbach, já em 1614, tentou introduzir “an Arabic language course for medical students at Herborn academy”⁵². Não só existia um claro reconhecimento do avanço conseguido pela tradição científica árabe – “for who would deny that the centuries always make progress?”⁵³ –, como o interesse filológico humanista promovia o estudo da própria língua⁵⁴. Reconhecendo, então, que o impacto da corrente humanística na

⁴⁶ Hasse, 2016, p. 305.

⁴⁷ Sobre a teoria da unicidade do intelecto, ver: Hasse, 2016, p. 197.

⁴⁸ Hasse, 2016, 305.

⁴⁹ Hasse, 2016, p.299.

⁵⁰ Dannenfeldt, 1955, p.116.

⁵¹ Dannenfeldt, 1955, p.110.

⁵² Saliba, 1999.

⁵³ Postel, 1539/1540 em Hasse, 2016, p. 308.

⁵⁴ Dannenfeldt, p. 101: “The fifteenth century did see, however, the beginning of a sustained interest in Arabic among scholars, for to the earlier and continuing widespread missionary interest was added the philological interest of the humanists”.

tradição científico-filosófica árabe esteve longe de ter sido homogêneo durante os séculos XV e XVI, conclui-se que a decisão de a excluir tanto dos currículos universitários, como do estudo de determinadas disciplinas não pode ter sido consensual. Mas terá sido justa?

Depois de procurar entender as formas através das quais a tradição científico-filosófica estaria presente na Europa renascentista, a segunda parte de *Success and Suppression* dedicou-se à análise de três casos onde a exclusão de determinadas fontes árabes foi promovida. Cada um estava relacionado com uma disciplina diferente: em farmacologia, o estudo da planta *cassia acutifolia*, senna alexandrina, por Pseudo-Mesue e Pseudo-Serapion; em filosofia, os comentários de Averróis a Aristóteles; e, em astrologia, “six matters of dispute”⁵⁵ entre a tradição árabe e a ptolemaica. Cada disciplina, por sua vez, apoiava-se no estudo dos textos em questão até ao século XV – período em que os mesmos começaram a ser criticados. A desvalorização destes textos partia da ideia de que, se aos antigos “nothing was untried, nothing unknown from experience”⁵⁶, então todo o conhecimento produzido durante os séculos intermédios ou não seria válido, ou seria uma repetição daquilo que já se conhecia anteriormente. O que Hasse procurava determinar, era a validade científica, ou não, destes princípios. Não cabendo nesta dissertação uma descrição aprofundada da investigação, é importante mencionarem-se algumas das suas descobertas e conclusões. Nesse sentido, os próximos parágrafos dedicam-se a uma síntese sobre as formas como a planta senna foi sendo abordada durante os séculos XV e XVI, apresentando, depois, algumas considerações sobre os restantes casos.

A desvalorização de fontes árabes em farmacologia foi promovida por humanistas como Nicolò Leoniceo, que procuravam apresentar, tanto quanto possível, plantas e medicamentos que tivessem sido descritos por autoridades clássicas. Essas autoridades, no entanto, nem sempre cobriam todo o conhecimento produzido até à época e acontecia existirem plantas, medicamentos ou procedimentos que, se mencionados de todo, eram pouco aprofundados por elas. O interesse de Hasse em analisar a forma como se foi abordando a planta senna a partir do século XV está no facto de, por um lado, se tratar de uma planta bastante comum em farmacologia – que não podia ser ignorada – e, por outro, de não ter sido mencionada por autores clássicos:

“it is described by Arabic authorities only— and by medieval sources who draw on them. Senna appears regularly in Arabic pharmacognostic treatises, some of which were accessible in Latin translation: Pseudo-Mesue’s *De simplicibus*, Pseudo-Serapion’s *Liber aggregatus in medicinis simplicibus*, and Averroes’s *Colliget*.”⁵⁷

A abordagem de humanistas como Marcello Virgílio, que acreditavam que o estudo de medicina e farmacologia se devia basear apenas em fontes clássicas, passava não só por evitar a

⁵⁵ Hasse, 2016, p. 254.

⁵⁶ Barbaro, 1530 em Hasse, 2016, p. 142.

⁵⁷ Hasse, 2016, p. 139.

nomenclatura árabe ou medieval, mas também por tentar relacionar senna a alguma planta descrita nos textos clássicos: “(...) senna, which is known to all pharmacies and among the people, was called delphinion in antiquity, as some have thought”⁵⁸. Mesmo aceitando as falsas associações, que acabavam por ser detectadas, continuava a ser necessária uma descrição associada aos efeitos medicinais da original. *De simplicius*, uma das seis partes da *Opera Mesue* – onde a “attribution to “Mesue” is pseudoepigraphic”⁵⁹ – trata-se de um conjunto de 54 monógrafos sobre 54 plantas diferentes. “Each monograph has six parts: it begins with a brief botanical identification of the plant, and is then followed by the parts “selection” (electio), “temperament and property” (complexio et proprietates), “correction” (correctio), “effect” (posse), and “dose” (dosis)”⁶⁰. Nenhum texto grego descrevia senna tão detalhadamente.

Com Jean Ruel, o físico do rei Francisco I de França, Hasse descobriu uma nova fase na associação de senna a plantas mencionadas em fontes clássicas. Procurando um texto que não só a identificasse, mas descrevesse as suas propriedades medicinais, de forma a dispensar a consulta de autores árabes, Ruel recorreu à manipulação textual para argumentar que Teofrasto (séc. IV a.C) apresentava senna com o nome colutea. Para evidenciar, primeiro, que ambas as fontes, gregas e árabes, se referiam à mesma planta, adicionaram-se informações aos autores árabes que, originalmente, se encontravam apenas nos gregos. Para, depois, se atribuir a Teofrasto e Actuarius (1275/1328), “a late Greek authority on the matter (...) who, unfortunately, does not say more than one sentence on senna”⁶¹, uma descrição das propriedades medicinais da planta, acrescentaram-se citações silenciosas de Pseudo-Serapion e Pseudo-Mesue. Mais concretamente, referindo-se sempre a colutea, Ruel começou por apresentar a descrição de Teofrasto citando, depois, a informação de Actuarius sobre senna, à qual acrescentou discretamente não só características que o mesmo autor atribuía a outras plantas – nomeadamente *manna* e *cassia nigra* – mas também “silent quotations from Pseudo-Serapion and Pseudo-Mesue on senna”⁶². O resultado não foi tanto um regresso às fontes, mas uma tentativa de transformar informações árabes medievais em clássicas.

Com a descoberta das manipulações de Ruel, tornou-se particularmente evidente que a desvalorização da tradição científico-filosófica árabe não foi sempre motivada por questões associadas ao conteúdo da mesma, mas, em alguns casos, por crenças, ideologias e preconceitos partilhados por alguns humanistas. A questão não se prende tanto com a produção do texto em si, mas principalmente com o interesse que despertou em autores posteriores. Senna não estava, de facto, relacionada com colutea e esta informação foi discutida por físicos como Luigi Mondella

⁵⁸ Marcello Virgilio, 1518, em Hasse, 2016, p. 142.

⁵⁹ Hasse, 2016, p. 123.

⁶⁰ Hasse, 2016, p.124.

⁶¹ Hasse, 2016, p. 155.

⁶² Hasse, 2016, p.155.

(1537), de Brescia, ou Amato Lusitano (1554), de Portugal – “colutea arbor est, senna vero planta”⁶³. Ainda assim, a ideia mantinha-se em autores como Leonhart Fuchs, professor da universidade de Tübinga que, no *De historia stirpium* (1542), relacionava as duas como subespécies da mesma espécie: “Since these two types of colutea are similar to each other not only in appearance, but in taste, it is easy to gather from this that they differ very little in properties”⁶⁴. A distinção definitiva das plantas só terá sido esclarecida, segundo Hasse, pelo botânico Pietro Mattioli, num comentário a Discórides primeiro, em 1544, em italiano, e depois, em 1554, em latim. Partindo sobretudo de argumentos empíricos – “I had planted an entire field of senna, so that I could test the picked pods (...) as well as the dried pods”⁶⁵ – o autor começa por apresentar uma descrição física bastante detalhada e acaba por explicar as reacções que poderiam provocar quando ingeridas. Em conclusão, por um lado, esclareceu-se que Fuchs estaria errado, e, por outro, confirmaram-se a maior parte das informações de Pseudo-Mesue.

Com os últimos parágrafos, através de uma parte da investigação de Hasse, pretendeu-se reforçar a conclusão de que a supressão de textos científicos árabes durante o renascimento aconteceu realmente. “In the present context, the term suppression means no more and no less than conscious opposition to scientific theories for nonscientific reasons”⁶⁶. Analisado a forma como a planta senna foi abordada em farmacologia entre os séculos XV e XVI, evidenciou-se que a rejeição da tradição científico-filosófica árabe foi, em alguns casos, motivada por crenças ou ideologias de vários humanistas. Logicamente, não foi sempre assim. Nem todos os textos que deixaram de ser mencionados durante o renascimento foram suprimidos. Muitos deles terão sido ultrapassados por questões científicas. As descrições de senna por Pseudo-Serapion e Pseudo-Mesue em botânica, por exemplo, tornaram-se insuficientes porque a disciplina desenvolveu determinados critérios e exigências. Nesta, como em várias outras ciências, o apelo humanístico ao domínio linguístico e filológico era “justified from an internal, scientific point of view”⁶⁷. A propaganda anti-árabe, baseada em argumentos de corrupção linguística, plágio e irreligião, pelo contrário, não o era, na medida em que as contribuições científico-filosóficas árabes representavam mais que apenas traduções ou teorias inválidas. Em farmacologia, as descrições de Pseudo-Mesue não só foram recolocadas nos currículos universitários, como usadas até ao século XVIII. Finalmente, embora, com os últimos parágrafos, se tenha associado supressão sobretudo a esta disciplina, a atribuição, por Johannes Schoner, das natividades, em astrologia, ao Tetrabiblos de Ptolemeu, foi também uma tentativa de suprimir autores como Albohali (أبو علي),

⁶³ Amatus Lusitanus, 1554 em Hasse, 2016, p. 156.

⁶⁴ Fuchs, 1542 em: Hasse, 2016, p. 161.

⁶⁵ Mattioli, 1565 em: Hasse, 2016, p. 166.

⁶⁶ Hasse, 2016, p. 300.

⁶⁷ Hasse, 2016, p. 175.

Omar Tiberiades (عمر بن الفَرَّخَان الطبري), e Alcabitus (ابن علي القبيصي); em filosofia, o estudo de Averróis foi mesmo condenado pelo bispo Pietro Barozzi.

Reconhecendo que a supressão de textos, autores e teorias árabes foi um fenómeno real durante o renascimento, levanta-se um problema em relação à dimensão com que terá ocorrido. Por um lado, considerando que o motivo pelo qual Hasse terá conseguido determinar a supressão dos três casos referidos se relaciona, também, com o facto de estes terem reentrado nos programas das próprias disciplinas, coloca-se uma questão em relação à possibilidade de se encontrarem outros, com os quais o mesmo não tenha acontecido. Em relação à farmacologia, colocou-se mesmo a possibilidade de “tangible and even unrecoverable losses (...) in the case of other Arabic additions to *materia medica*”⁶⁸. Por outro lado, o facto desses mesmos exemplos se referirem à supressão de textos que já teriam estado disponíveis e cuja relevância já se conhecia desde o período medieval levanta uma outra questão em relação ao impacto que o humanismo teria na chegada de novos textos à Europa. Seriam tão divulgados como os primeiros? A questão coloca-se não para levantar suposições hipotéticas, mas porque o crescente interesse pelo estudo de manuscritos árabes tem revelado várias teorias, inicialmente atribuídas a filósofos ou matemáticos europeus, que teriam sido formuladas primeiro por outros árabes: a explicação da circulação pulmonar do sangue encontrada, primeiro, em Miguel Severtus (1511-1553) e, depois, em William Harvey (1578-1657), está também num tratado de Ibn Nafīs (1210-1288); os modelos e mecanismos astronómicos que teriam sido construídos por Nicolau Copérnico (1473-1543), estavam também em manuscritos dos astrónomos Ibn al-Shāṭir, Mu’ayyad al-Dīn al-’Urḍī e Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī; segundo Juan Vernet⁶⁹, também a teoria do arco-íris de Dietrich von Freiberg (1250-1310) chega às mesmas conclusões que a do seu contemporâneo Qutb al-Dīn al-Sīrāzī (1236-1311). Uma vez que nenhum dos textos ocidentais cita os respectivos autores árabes, a influência que os primeiros podem ter tido nos segundos é deixada em aberto, mantendo-se sempre a hipótese de que poderão tratar-se de descobertas idênticas em pessoas que estariam a reflectir sobre os mesmos problemas. Enquanto esta possibilidade tem sido defendida por historiadores como Cohen, Huff ou Mario di Bono, autores como Saliba ou Bala têm procurado outras respostas. Ambos se apoiam na ideia de circulação de conhecimento entre 500 e 1500 para defender que a transmissão das teorias em questão seria mais provável. Saliba propôs ainda o conceito “embedding” para explicar uma forma de transmissão “through which Renaissance scientists, and sometimes also humanists, read texts in the original Arabic, grasped ideas contained in those texts, and then incorporated those ideas in their own work.”⁷⁰.

⁶⁸ Hasse, 2016, p. 174.

⁶⁹ Vernet, 1999, pp. 317-318.

⁷⁰ Saliba, 2008, p. 194.

Em conclusão, a consciência de que terá existido supressão de uma parte da tradição científico-filosófica árabe durante o renascimento levanta um problema em história das ciências. Desconhecendo-se a dimensão com que terá ocorrido, têm sido propostas várias interpretações acerca da relevância que esta tradição pode ter tido na ciência ocidental. Apesar de historiadores especializados em ciência árabe, como Vernet, J. Ragep ou Saliba⁷¹, sugerirem contributos relevantes no desenvolvimento de determinadas disciplinas, têm também apontado para o facto de o tema continuar pouco abordado por vários historiadores⁷². Edward Grant, por exemplo, em *Os Fundamentos da Ciência Moderna na Idade Média* (1996), destaca a ciência “greco-árabe”⁷³ para se referir principalmente a traduções e comentários à filosofia de Aristóteles. David Lindberg, pelo contrário, propôs uma segunda edição do *The Beginnings of Western Science* (2007), onde “the chapter on Islamic science has been entirely rewritten – altered in both substance and presentation, to reveal the magnitude and sophistication of the medieval scientific achievement”⁷⁴. A dificuldade em entender o papel da tradição científico-filosófica árabe no desenvolvimento da ciência europeia, está principalmente associada ao facto de ter sido omitida ou desvalorizada nas próprias fontes ocidentais. Não havendo nenhum indício textual de que Fuchs, Shoner, Harvey, Copérnico ou von Freiberg se apoiaram especialmente nela, porque motivo se deveria acreditar no contrário? A procura por entender o impacto que determinados movimentos intelectuais e culturais tiveram em disciplinas científicas e filosóficas, ou por aprofundar o conhecimento sobre ciência árabe, tem vindo a sugerir que, provavelmente, apenas parte da história está contada nos textos; que a influência da ciência e filosofia árabe pode ter sido bastante maior do que se julgou até à segunda metade do século XX. O humanismo na Europa não só terá sido responsável pela supressão de textos árabes anteriores ao século XIII, como pode ter motivado a falta de tradução de outros que tenham chegado à Europa mais tarde – quer pela propaganda contra esta tradição científico-filosófica, quer porque a importância atribuída à filologia e linguística justificava o interesse pela leitura dos textos no original. De qualquer forma, a falta de percepção das dimensões que a supressão da tradição científico-filosófica árabe terá tido, ou mesmo da compreensão dos motivos que a terão impulsionado, tem sido bastante problemática na procura de determinar a influência que esta tradição terá tido na Europa. No final de contas, “whose science was Arabic science in Renaissance Europe?”⁷⁵

⁷¹ Vernet, 1999; Ragep, 2017; Saliba, 2007.

⁷² Ragep e Feldhay, 2017, p.5: “It is perhaps not coincidental that the most recent discussions of Copernicus have almost all taken a Eurocentric turn, with the question of cross-cultural influence mostly set aside.”; Bala, 2016, p.63: “However, the Scientific Revolution which played such a critical role in the emergence of the modern world has often been seen as a phenomenon largely insulated by such global dialogues since most historians see it as built on the achievements of ancient and early modern Europeans alone”

⁷³ Grant, 1996, p. 201.

⁷⁴ Lindberg, 2007, p. xv.

⁷⁵ Saliba, 1999.

Capítulo 2

A tradição *hay'a* e a astronomia copernicana

Durante a segunda metade do século XX, a descoberta de um conjunto de modelos árabes medievais e a proposta de que eles se incluíam numa nova tradição de astronomia, levantou uma polémica em história das ciências. O facto de os modelos se assemelharem aos copernicianos provocou um problema historiográfico, na medida em que implicava a revisão de três teorias geralmente aceites: a primeira, de que o período mais produtivo na história da astronomia árabe teria sido entre os séculos VIII e XII, um período ao qual se tem chamado de “idade de ouro”; a segunda, de que as maiores descobertas dessa astronomia estariam relacionadas com a correcção de valores e parâmetros ptolemaicos; e a terceira, de que Copérnico, ou os astrónomos ocidentais renascentistas, não teriam sido influenciados por uma astronomia árabe posterior a esse período. O problema mantém-se. Da mesma forma que não foi possível chegar a um consenso sobre a possibilidade de os modelos terem influenciado a astronomia europeia, também não o foi sobre a possibilidade de contrariarem a ideia de uma “idade de ouro” que, embora rejeitada por alguns historiadores⁷⁶, continua a ser aplicada por outros⁷⁷ para se referir a um período onde a ciência árabe terá sido particularmente produtiva. Concluiu-se, no entanto, que a astronomia associada à construção dos novos modelos se tratava de uma outra tradição, ou disciplina, distinta daquela que representava a astronomia árabe até à segunda metade do século XX. Tratava-se de uma tradição à qual os astrónomos chamavam de *'ilm al-hay'a*.

O segundo capítulo propõe uma análise da polémica historiográfica apresentada. Não pretendendo responder a nenhuma das questões mencionadas em cima, procura-se sobretudo compreender o problema e as interpretações formuladas pelos historiadores. Para que tal seja possível, optou-se por seguir uma abordagem que elucidasse vários pontos: o contexto historiográfico em que a descoberta dos modelos e da tradição *hay'a* se inseriam; que objectivos e resultados caracterizavam esta astronomia e em que medida é que esses se assemelhavam ou se

⁷⁶Saliba, 2009, p.23: “On the other hand, we note a remarkable activity, of the highest order of mathematical and technical rigor, that kept on flourishing in the Islamic world after the death of Ghazālī [1111], so much so that I have dubbed this post-Ghazālī period as golden age of Islamic astronomy, (...)”; Ragep, 2008, p.1 “During the past half of the century or so, an ever-increasing body of scholarly work has shown that science in Islam not only continued after al-Ghazālī but in fact flourished for centuries there after”

⁷⁷Weinberg, 2016, p.7 “Arab science had already begun to decline before the end of the Abbasid caliphate, perhaps beginning about AD 1100. After that, there were no more scientists with the stature of al-Battani, al-Biruni, Ibn Sina, and al-Haitam. This is a controversial point, and the bitterness of the controversy is heightened by today’s politics. Some scholars deny that there was any decline.”; Cohen, 2012, pp. 64-65 “The names of al-Battani, al-Biruni, al-Farabi, Ibn al-Haytham, Ibn Sina, al-Khwarizmi, al-Kindi, al-Razi, Thabit ibn Qurra stand out in every account of the period. No such across-the-board outburst of concentrated creativity was to repeat itself in Islamic lands. The three greatest, Ibn Sina, al-Biruni, and Ibn al-Haytham, all died in the mid-11th century (mid-5th century). And then just as in Greece some 1200 years earlier, momentum was lost and a steep downturn set in.”

diferenciavam dos de Copérnico; e, finalmente, as hipóteses de transmissão formuladas. Foi no sentido de tentar compreender estas questões que, depois de uma primeira parte menos técnica, se procurou entender os modelos árabes principais e alguns dos textos que lhes estavam associados, também através da comparação com os ptolemaicos e copernicianos. Relembrando sempre a importância que deve ser atribuída ao contexto sociocultural e às hipóteses de transmissão – que serão apresentadas no final do capítulo – é necessário incluir-se uma análise técnica, sem a qual seria impossível entender alguns dos argumentos incluídos nesta polémica. Ainda antes, sugere-se uma primeira parte que, privilegiando uma linha cronológica desde o início do século XX – antes da descoberta dos modelos – até aos estudos mais recentes sobre a tradição *hay'a*, contextualizasse não só o problema historiográfico, mas também os modelos, os astrónomos e a tradição.

A narrativa clássica, como George Saliba lhe chamou⁷⁸, sobre a astronomia árabe formou-se no princípio do século XX e encontra-se também no *Le Système du Monde*, de Pierre Duhem. Sugeria-se que os astrónomos árabes, quando confrontados com textos astronómicos clássicos, não conseguiram acompanhar a “prodigieuse ingéniosité géométrique des Grecs”⁷⁹. Porquê? Depois de explicar que a tradição grega distinguia a filosofia natural da astronomia, no sentido em que os filósofos procuravam as causas verdadeiras dos fenómenos naturais e os astrónomos determinar modelos matemáticos precisos, que descrevessem o movimento dos corpos celestes, Duhem constatou que a tradição árabe não as distinguia tanto. Depois das primeiras traduções e comentários ao *Almagesto*, os astrónomos do império islâmico começaram a escrever críticas onde apontavam também incoerências filosóficas às teorias astronómicas. Sendo que os modelos ptolemaicos seriam construções matemáticas, sem qualquer pretensão de argumentar sobre princípios de filosofia natural, Duhem considerou que as críticas árabes seriam mal fundamentadas e que teriam resultado da falta de compreensão dos objectivos da tradição helénica.

“[L]orsqu'ils ont examiné ces hypothèses, lorsqu'ils ont tenté d'en découvrir la véritable nature, leur vue n'a pu égaler en pénétration celle d'un Posidonius, d'un Ptolémée, d'un Proclus ou d'un Simplicius; esclaves de l'imagination, ils ont cherché à voir et à toucher ce que les penseurs grecs avaient déclaré purement fictif et abstrait ; ils ont voulu réaliser, en des sphères solides roulant au sein des cieux, les excentriques et les épicycles que Ptolémée et ses successeurs donnaient comme artifices de calcul ; mais, dans cette œuvre même, ils n'ont fait que copier Ptolémée”.⁸⁰

⁷⁸ Saliba, 2007, p.6.

⁷⁹ Duhem, 1965, p.117.

⁸⁰ Duhem, p.118.

Independentemente das críticas às incoerências filosóficas e além das traduções do *Almagesto*, conheciam-se, no princípio do século XX, astrónomos como al-Fārābī, الفارابي, (870-950) cujas contribuições foram bastante relevantes para o desenvolvimento da astronomia ocidental. Não é, então, estranho que, apesar da “narrativa clássica”, alguns historiadores se tenham dedicado a estudar tratados e livros de autores árabes – onde *Al-Battānī sive Albatēnii, Opus Astronomicum* (1899-1907), de Carlos Alfonso Nallino⁸¹ é um dos melhores exemplos. Em história da astronomia sabia-se que, além das críticas às incoerências filosóficas, tinham sido reformulados vários parâmetros ptolemaicos, relacionados principalmente com o movimento do Sol. Por volta do século IX, depois de ter sido verificado que vários valores apresentados no *Almagesto* não eram coerentes com as observações, acertaram-se parâmetros como “the obliquity of the ecliptic, the length of the tropical year, the rate of precession, and the eccentricity and tropical longitude of the apsidal line of the solar model”⁸². É considerando todas as correcções, comentários e observações acrescentadas, que se pode entender o *Almagesto* e as teorias astronómicas que chegaram à Europa até ao princípio do século XIV, como o resultado do trabalho não só de Ptolemeu, mas também de um conjunto de astrónomos árabes. Esta astronomia, mais recentemente, foi referida por Otto Neugebauer e Noel Swerdlow como o primeiro grupo de “handful of sources that were, directly or indirectly, pertinent to the work of Copernicus”. No entanto, uma vez que os métodos utilizados na formulação de soluções “were not original”, mas “found by applying Ptolemy’s procedures for the derivation of the parameters, or slight modifications of them to new observations of the sun or a few zodiacal stars”⁸³, estes astrónomos ainda se mantinham dentro da tradição ptolemaica. Estes astrónomos, até à segunda metade do século XX, abrangiam praticamente tudo o que se conhecia sobre história da astronomia árabe.

Em 1957, a revista *ISIS* publicou o primeiro de quatro artigos que implicaram a revisão de algumas teorias históricas por proporem, primeiro, a existência de uma nova tradição em astronomia e, depois, que essa mesma tradição teria influenciado directamente o trabalho de Nicolau Copérnico. Os artigos, publicados durante um período de nove anos por Edward Kennedy, Victor Roberts e Fuad Abbud, resultaram da descoberta de *Nihāyat al-Sūl*, نهاية السؤل – hoje considerado o tratado mais importante de Alā’ al-Dīn Ibn al-Shāṭir, علاء الدين ابن الشاطر (1305-1375). O astrónomo ocupava o cargo de *mūwaqqīt* (مواقيت الصلاة) na mesquita Umayyad, em Damasco, e era conhecido no médio oriente principalmente pelo *al-Zīj al-Jadīd* (الزيج الجديد), um conjunto de tabelas astronómicas para o movimento do Sol, da Lua e dos planetas. Construiu também vários modelos astronómicos e instrumentos de observação, como relógios solares e astrolábios. “(...) Legend has it”, de acordo com Saliba, “that Ibn al-Shāṭir’s most important work, the *Nihāyat al-Sūl*, was stumbled upon by Edward Kennedy, while he was at the Bodleian Library

⁸¹ Nallino, 1903.

⁸² Swerdlow e Neugebauer, 1984, p.42.

⁸³ Swerdlow e Neugebauer, p.43

waiting for Ibn al-Shāṭir's Zīj”⁸⁴. As teorias encontradas neste tratado não só se distinguiam das antecedentes ptolemaicas, no sentido em que se apoiavam em mecanismos e teoremas diferentes, como se assemelhavam às posteriores copernicianas – uma descoberta apontada por Otto Neugebauer⁸⁵. Com os quatro artigos, entre 1957 e 1966, pretendia-se sobretudo analisar os modelos de Ibn al-Shāṭir e compará-los com os de Copérnico, produzidos cerca de 150 anos mais tarde.

No primeiro artigo, “The Solar and Lunar Theory of Ibn al-Shāṭir, A Pre-Copernican Copernican Model”⁸⁶, Victor Roberts descreveu dois modelos que, por dispensarem o deferente excêntrico e introduzirem um segundo epiciclo, se distinguiam dos ptolemaicos. Além de mais avançados que quaisquer outros até ao mesmo período, a importância desta descoberta relacionava-se com o facto do modelo da Lua de al-Shāṭir ser bastante semelhante ao copernicano. Se, por um lado, no caso do Sol “Ibn al-Shāṭir gives no motivation for his adoption of two epicycles and it is difficult to see how his model constitutes an improvement over the Ptolemaic one”⁸⁷, por outro, o modelo da Lua, “except for trivial differences, is identical with that of Copernicus”⁸⁸. Nesta fase inicial do estudo acerca das teorias astronómicas, deixaram-se principalmente duas considerações finais: a questão de uma “possible influence of the earlier astronomer on the later” – a qual podia não ter acontecido, uma vez que não se conheciam textos de Ibn al-Shāṭir que tivessem chegado à Europa nesse período – e, depois, o facto de a semelhança entre as teorias dos dois astrónomos ser uma particularidade do modelo da Lua. Tal como no caso do Sol, os modelos dos planetas, ainda por analisar, pareciam “quite different from those of Copernicus”⁸⁹. Dois anos mais tarde, Kennedy e Roberts chegaram a uma conclusão diferente:

“The paper referred to above [i.e. Roberts's] contains the statement that the planetary machinery of Ibn al-Shāṭir is quite different from that of Copernicus. It is now clear that this assertion is valid only to the extent that the universes of the two individuals are geostatic and heliostatic respectively.

In all the other respects, particularly in the case of Mercury and Venus, the solutions worked out in Copernicus' *De revolutionibus* for corresponding planets show a remarkable similarity to those of our source.”⁹⁰

De forma simplificada, cada modelo astronómico corresponde a um conjunto de círculos, com determinados movimentos, e pode ser entendido como um sistema de vectores (embora o termo seja anacrónico para o século XIV). “If, then, the lengths of all vectors are specified, as

⁸⁴ Saliba, 1994, p.259.

⁸⁵ Roberts, 1957, p.428 [n.2].

⁸⁶ Roberts, 1957, p. 428-432.

⁸⁷ Roberts, p.430

⁸⁸ Roberts, p.428

⁸⁹ Roberts, p.432

⁹⁰ Kennedy e Roberts, 1959, p.227.

well as their initial positions at some epoch, together with their rates of rotation, the longitude of the planet at any time can be determined”⁹¹ O que Kennedy e Roberts constataram, foi que os modelos copernicianos partiam de círculos com dimensões e posições bastante aproximadas às dos que se encontravam nos modelos de Ibn al-Shāṭir. Comparando as três fontes diferentes dos dois astrónomos, isto é, o *Commentariolos* e o *De revolutionibus* de Copérnico e o *Nihāyat al-Sūl* de al-Shāṭir, os historiadores concluíram que, apesar de todos os modelos copernicianos se assemelharem aos do astrónomo damasceno, essa semelhança era mais aparente nos de Mercúrio e da Lua. Para os planetas superiores, “the three sources exhibit three different ways of producing the same result”⁹². Concluíram também que ambos os astrónomos se apropriavam, da mesma forma, de dois mecanismos para os modelos de Mercúrio: uma determinada combinação de dois vectores e um “device of rolling one circle inside another having twice its radius”⁹³. Este segundo foi descrito, primeiro em 1893, por Carra de Vaux, numa tradução e comentário do tratado *al-Tadhkira*, التذكرة, do astrónomo Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī⁹⁴ (1201-1274); e depois em 1906, por J. L. E. Dreyer, que apontou ainda, numa nota de rodapé, a semelhança em relação ao mecanismo que Copérnico descreveu no livro III do *De revolutionibus*⁹⁵. Face a todas as semelhanças entre os vários modelos, Kennedy e Roberts sugeriram que “to assume that the later astronomer operated in total ignorance of the work of his predecessor would be to ask a good deal. (...) However we do not feel that the time for inferences has arrived. As Candide put it, ‘Cela est bien dit, mais il faut cultiver notre jardin’”⁹⁶.

Embora parecesse que Ibn al-Shāṭir tinha sido o primeiro astrónomo a construir modelos não-ptolemaicos que conseguissem competir com o nível de precisão dos do *Almagesto*, não foi o primeiro tentar fazê-lo. Em *Nihāyat al-Sūl* mencionam-se outros astrónomos, entre os quais estão Ibn al-Haytham, أبو علي الحسن بن الحسن بن الهيثم, (965-1039) Mu’ayyad al-Dīn al-‘Urḍī, مؤيد قطب الدين الشيرازي, (1236-1311) que, como o astrónomo damasceno, propunham um conjunto de novos modelos astronómicos. À excepção do capítulo XI do *al-Tadhkira* (كتاب التذكرة) de al-Ṭūsī – que já tinha sido brevemente descrito por Carra de Vaux⁹⁷ – todos os outros textos estavam por estudar. Ainda assim, as referências em *Nihāyat al-Sūl* sugeriam que, ao contrário de um caso isolado, o trabalho de Ibn al-Shāṭir seria, provavelmente, o resultado dos avanços sucessivos de um conjunto de astrónomos, acerca dos quais se sabia muito pouco.

⁹¹ Kennedy e Roberts, 1959, p.228

⁹² Kennedy e Roberts, 1959, p. 233.

⁹³ Kennedy e Roberts, 1959, p. 233.

⁹⁴ Carra de Vaux, 1893 p.337-361.

⁹⁵ Dreyer, 1953, p. 269 [n.1]

⁹⁶ Kennedy, e Roberts, 1959, p.234.

⁹⁷ Carra de Vaux, 1893, p.338: “La portée de ce chapitre n’est donc pas très grande; il mérite néanmoins d’être lu à titre de curiosité”.

Os dois últimos artigos – o de Fuad Abbud, em 1962⁹⁸ e o de Victor Roberts, em 1966⁹⁹ – concluíram a análise dos modelos de Ibn al-Shāṭir, procurando, ao mesmo tempo, possíveis semelhanças com os copernicianos. Sabendo agora que, na maioria dos casos, os modelos dos dois astrónomos eram equivalentes, Abbud propôs uma comparação entre as tabelas numéricas que ambos apresentaram e Roberts a análise das teorias de al-Shāṭir para os movimentos dos planetas em latitude – que depois comparou também com as de Copérnico. Não cabendo, aqui, uma síntese muito detalhada, é necessária, no entanto, uma breve explicação dos dois artigos, assim como das conclusões a que chegaram.

Abbud começou por esclarecer que, existindo modelos astronómicos para os movimentos, a determinação da posição em longitude de cada planeta resultava geralmente da combinação de quatro funções de uma só variável. Essas quatro funções computavam-se em tabelas numéricas para facilitar os cálculos que pretendessem determinar a posição de um planeta. “This procedure, non-trivial from a mathematical point of view, was first worked out by Ptolemy”¹⁰⁰ e, de acordo com Abbud, também por Ibn al-Shāṭir e Copérnico.

“Of course this does not demonstrate dependence of the later upon the earlier scientist. What is much more probable is that both, independently or otherwise, being confronted with the same problem, chose the eminently satisfactory Ptolemaic solution.”¹⁰¹

O artigo propõe uma comparação entre os valores numéricos tabelados não só por cada um dos dois astrónomos, mas também pela computação independente dos parâmetros de Ibn al-Shāṭir. Pretendia-se entender se os valores apresentados pelos três grupos correspondiam entre si. Abbud concluiu que uma

“(...) marked similarity already observed between the geometric models of the two astronomers also holds for their numerical tables. Both have diverged slightly from the Ptolemaic computational scheme, and both have diverged the same way. At the same time, the tables are not identical; the slight differences in parameters have entailed corresponding differences in the functions. Thus it is clear that the Copernican values are independently computed.”¹⁰²

Ou seja, apesar de próximos, os valores tabelados não são idênticos. Considerando a semelhança dos próprios modelos, é natural que as quatro funções numéricas mencionadas em cima, calculadas a partir deles, não se diferenciem muito. Contudo, lembrando que os modelos dos dois astrónomos variavam em alguns parâmetros, faz também sentido que essas funções não

⁹⁸ Abbud, 1962, pp. 492-499.

⁹⁹ Roberts, 1966, pp. 208-219.

¹⁰⁰ Abbud, 1962, p. 492.

¹⁰¹ Abbud, 1962, p.493.

¹⁰² Abbud, 1962, p.496.

sejam completamente idênticas. Em conclusão: Copérnico teria calculado as próprias tabelas numéricas, independentemente dos valores de Ibn al-Shāṭir.

No último artigo, Roberts propôs a análise da teoria do astrónomo damasceno para os movimentos dos planetas e da Lua em latitude. Seguindo a estrutura do *Almagesto*, para que o movimento de um corpo celeste fosse descrito o mais precisamente possível, os astrónomos definiam, primeiro, modelos bidimensionais, num plano coincidente com o da eclíptica, para determinar os movimentos dos planetas em longitude. Só depois se definiam outros tridimensionais que acrescentavam às primeiras as posições em latitude. Uma vez que os planetas circulam em órbitas ligeiramente inclinadas à eclíptica, o movimento em latitude define o desvio a Norte ou Sul, através do qual o planeta se afasta dela.

“Since the fixed angle between the ecliptic and the plane of the planet’s orbit is in all cases small, very little precision is lost in longitude calculations if this angle is made zero. There is a great gain in simplicity, for then all action takes place in the ecliptic plane, and the problem is two dimensional.”¹⁰³

Para que o movimento seja descrito precisamente, é necessário torná-lo tridimensional e definir um modelo que descreva o desvio em latitude. “This was done by all three astronomers discussed here: Ptolemy, Ibn al-Shāṭir and Copernicus”¹⁰⁴. Tanto o astrónomo damasceno como o polaco, insatisfeitos com a proposta ptolemaica, que não se baseava apenas em movimentos circulares uniformes, propuseram cada um um modelo alternativo. A diferença entre os dois é que, ao contrário do que aconteceu com Copérnico, as teorias de Ibn al-Shāṭir eram obscuras em alguns pontos e apoiadas em mecanismos insuficientes. Não se conseguiu, para os movimentos em latitude, aquilo que se tinha conseguido para os de longitude: usá-los na computação de tabelas astronómicas (zīj). Os valores que o astrónomo damasceno usou nas próprias tabelas baseavam-se sobretudo nos resultados do *Almagesto* ou em correcções posteriores. O mesmo não aconteceu com Copérnico, cujo modelo lhe permitia retirar valores para as tabelas astronómicas.

“For whatever reason, whether it was indeed a matter of time, or whether he sensed that his constructions would not perform quite as he asserted, the matter was carried no further.

The situation with Copernicus is somewhat different. An examination of the *De revolutionibus*, the *Commentariolus* (...) has shown that Copernicus proceeded to calculate his own latitude tables on the basis of his models.

Thus, in contrast to the planetary longitude theory, insofar as the latitude theory and tables are concerned, we find no evidence of an influence of Ibn al-Shāṭir upon Copernicus.”¹⁰⁵

¹⁰³ Roberts, 1966, p. 210.

¹⁰⁴ Roberts, 1966, p. 210.

¹⁰⁵ Roberts, 1966, p.219.

Foi desta forma que se encerram quatro artigos bastante relevantes para a historiografia da ciência árabe. A partir deles e da investigação começada pelos autores, descobriu-se que um astrónomo damasceno do século XIV construiu um conjunto de modelos que, primeiro, eram não-ptolemaicos, no sentido em que incluíam novos mecanismos e teoremas; segundo, mantinham o nível de precisão do *Almagesto*; e, finalmente, tirando o facto de serem geocêntricos, eram bastante semelhantes aos apresentados em 1543, no *De revolutionibus*. Descobriu-se também que, longe de resultarem apenas da criatividade ou genialidade de Ibn al-Shāṭir, esses modelos estavam associados a um grupo de astrónomos, pouco ou nada conhecidos, cujos textos eram mencionados em *Nihāyat al-Sūl*. A investigação iniciada a partir destas descobertas tinha dois objectivos principais: por um lado, entender quem eram os astrónomos associados a Ibn al-Shāṭir e que contribuições teriam produzido para o desenvolvimento das teorias astronómicas; e, por outro, se o trabalho deles pode ter influenciado, e de que forma, a astronomia europeia durante o renascimento. Ambas as investigações serão aprofundadas ao longo da dissertação. O final desta parte vai focar-se fundamentalmente na primeira, uma vez que esta ajuda a entender a origem dos mecanismos usados por al-Shāṭir e Copérnico.

Kennedy publicou, em 1966, um artigo onde se aplicou pela primeira vez o termo “Marāgha school” para identificar um grupo de astrónomos que teria estado, de alguma forma, associado ao observatório de Marāgha (مراغة). O observatório, construído no século XIII, onde hoje é o Azerbaijão, teve como primeiro director Naṣīr al-Dīn al-Tūṣī. Começando por investigar os nomes mencionados em *Nihāyat al-Sul*, Kennedy descobriu vários astrónomos que, como o damasceno, procuraram construir modelos astronómicos não-ptolemaicos, não porque os ptolemaicos fossem pouco precisos, mas porque levantavam algumas contradições do ponto de vista da filosofia natural. “On the whole they were well satisfied with the parameters (...) worked out in the Almagest. Positions predicted by their models are the same, within the limits of observational precision of the time, as those obtainable from Ptolemy”¹⁰⁶. Esta “escola” tinha como principal objectivo conciliar os parâmetros e resultados apresentados no *Almagesto* com a filosofia aristotélica, de modo a não atribuir aos céus mais que movimentos circulares uniformes. Pretendia-se, sobretudo, descrever matematicamente o movimento das esferas celestes da forma mais precisa e verosímil possível. Kennedy, foi um dos primeiros historiadores a investigar o trabalho deste grupo, que ficou conhecido como a escola de Marāgha.

Ibn al-Shāṭir menciona, em *Nihāyat al-Sūl*, principalmente quatro astrónomos: Naṣīr al-Dīn al-Tūṣī, Muḥī al-Dīn al-Maghribī, محيى الدين المغربي (1283), Mu'ayyad al-Dīn al-‘Urḍī e Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī. Uma vez que as propostas de Muḥī al-Dīn ainda são essencialmente ptolemaicas e que o texto de al-‘Urḍī estava desaparecido, o artigo “Late Medieval Planetary Theories”¹⁰⁷

¹⁰⁶ Kennedy, 1966, p. 366.

¹⁰⁷ Kennedy, 1966, pp. 365-378

dedicou-se à análise dos modelos astronómicos de al-Ṭūsī e al-Shīrāzī. O primeiro, al-Ṭūsī, foi um astrónomo que estudou “ancient sciences and philosophy”¹⁰⁸ em Tus, Nixapur, Mossul e possivelmente Bagdad. Em 1261, no tratado *al-Tadhkira*, descreveu modelos novos para os movimentos de todos os planetas, à excepção de Mercúrio¹⁰⁹, e da Lua, os quais, como J. Ragep mencionou mais tarde, formaram “(...) an important basis for more detailed and elaborate studies such as Shīrāzī’s Nihāya and Tuḥfa, which themselves became the primary source for future work (...)”¹¹⁰. Um dos maiores contributos de al-Ṭūsī para a astronomia também pode ser encontrado neste livro: um mecanismo a que al-Shīrāzī chamou de “princípio da pequena e grande [esfera]” (اصل الصغيرة و الكبيرة; aṣl al-ṣaghīra w’al kabīra) e Kennedy, mais tarde, de par-de-Ṭūsī. Este, que se apresentará melhor um pouco mais à frente, consiste essencialmente na produção de um movimento rectilíneo a partir de dois circulares uniformes – um círculo pequeno em movimento dentro de um grande, onde o segundo tem o dobro do diâmetro e metade da velocidade do primeiro. Além de ter sido aplicado logo no modelo da Lua, o par-de-Ṭūsī foi usado e comentado por vários astrónomos posteriores, entre os quais al-Shīrāzī, al-Shāṭir e Copérnico.

O segundo autor, al-Shīrāzī, foi um astrónomo de Xiraz que, em 1259/60, viajou até Marāgha para estudar com al-Ṭūsī. Com os tratados Nihāyat al-idrāk fī dirāyat al-aflāk, نهاية الإدراك في دراية الأفلاك, (1281) e al-Tuḥfat al-shāhiyyah fī al-hay’ah, التحفة الشاهية في الهيئة, (1284) propôs modelos para todos os planetas excepto a Lua¹¹¹. A diferença em relação aos de Ibn al-Shāṭir está não nos resultados obtidos, uma vez que se pretendia que os modelos descrevessem uma órbita semelhante à ptolemaica, mas na escolha dos mecanismos aplicados. No caso dos planetas superiores, em vez do “princípio da pequena e da grande [esfera]” (اصل الصغيرة و الكبيرة; aṣl al-ṣaghīra w’al-kabīra), o modelo baseava-se num outro mecanismo: o “princípio do protector e director” (اصل الحافظ و المدير; aṣl al-ḥāfiẓa w’al-mudīr) que, segundo Kennedy, provavelmente não teria sido inventado por al-Shīrāzī¹¹². A análise das teorias descritas por este astrónomo e a comparação com as copernicanas permitiu chegar ainda a uma outra conclusão: enquanto os modelos para os planetas superiores de Ibn al-Shāṭir se diferenciavam dos de Copérnico, o mesmo não acontecia com os de al-Shīrāzī. Os modelos eram equivalentes: “Transposition of a single vector in the linkage transforms it into that of Copernicus for the superior planets, but with the earth stationary”¹¹³.

¹⁰⁸ Ragep, 1993, p. 5.

¹⁰⁹ Kennedy, 1966, p.370: “In the *Tadhkira* it is stated that if the author had the opportunity he would write an appendix describing a Mercury model. This appendix appears in no copy of the *Tadhkira* known to us.”
Ragep, J, 1993, p. 208: “As for Mercury, it has not yet been possible for me to conceive how it should be done.”

¹¹⁰ Ragep, 1993, p. 57.

¹¹¹ Kennedy, 1966, p.377: “The passage [about the lunar motion] ends with a statement asserting that the matter of the opposite point has been settled. Then there is a place for a figure, again left blank in both copies. That a satisfactory solution was really attained seems doubtful.”

¹¹² Kennedy, 1966, p. 373: “The one [principle] he adopts is aṣl al-ḥafiza w'al-mudir, the “principle of the protector and the director.” There is reason (see Idrak, MS 957, fol. 82r) for thinking he was not the discoverer of the principle.”

¹¹³ Kennedy, 1967, p 601.

Resumindo: depois de 1969 sabia-se que os modelos copernicianos para os movimentos em longitude da Lua e de Mercúrio eram iguais aos de Ibn al-Shāṭir; que os dos planetas superiores e Vénus eram iguais aos de Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī; que um dos mecanismos apresentados no *De revolutionibus* teria sido descrito, antes, por Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī; e, finalmente, que, apesar de não o demonstrar, Copérnico aplicava nos próprios modelos um teorema mencionado por al-Shīrāzī. “In the face of this array of similarities, the conclusion seems inescapable that, somehow or other, Copernicus was strongly influenced by the work of these people”¹¹⁴.

Em 1970, Bernard Goldstein e Noel Swerdlow introduziram mais um astrónomo à escola de Marāgha, com a análise de um “anonymous Arabic treatise preserved in Bodlein”¹¹⁵. O interesse dos historiadores pelo tratado relacionava-se com um estudo acerca das primeiras teorias da estrutura do universo, que mais tarde dariam lugar ao que hoje se entende por cosmologia. Enquanto, no *Almagesto*, Ptolemeu propôs modelos teóricos que descrevessem os movimentos dos planetas, nas *Hipóteses planetárias* propôs uma teoria para a organização real dos corpos celestes no universo. Da mesma forma que os modelos ptolemaicos mantiveram a mesma estrutura até ao século XIII, no médio oriente, e ao século XVI, na Europa, também “the theoretical foundation for the determination of distances and sizes seems to have been so much taken for granted that alternative computational schemes are virtually unknown in medieval Islam and Europe”¹¹⁶. A novidade encontrada no manuscrito anónimo era a evidencia de um astrónomo que, pelo contrário, se propunha a reformar a teoria ptolemaica.

“The author of this work does not attack the principles of Ptolemy’s theory, nor does he present any new data. Quite the contrary, he seems to have worked almost exclusively from the *Almagest* and the *Planetary Hypotheses*, but he read these works very carefully and evidently gave a good deal of thought to Ptolemy’s handling of distances and sizes. On the basis of his investigations, he made some modifications of Ptolemy’s procedures which, while adhering faithfully to the theories of distances and sizes, radically alter the results”¹¹⁷.

Goldstein e Swerdlow acabaram por encontrar um astrónomo que, tal como a escola de Marāgha em relação aos modelos astronómicos, leu e percebeu as *Hipóteses Planetárias*, aceitou os princípios e dados observacionais, mas alterou os procedimentos e, consequentemente, a explicação final. O tratado propunha uma das maiores reformas medievais à cosmologia ptolemaica. O nome do autor, que o manuscrito referia como “Shaykh Imām”, não estava mencionado no texto. Apesar de catalogado como sendo de Avicena, o astrónomo anónimo não só não seguia as mesmas teorias filosóficas que o filósofo do século X, como mencionava nomes que lhe eram posteriores. A análise do texto permitiu concluir apenas que o autor já teria morrido

¹¹⁴ Kennedy, 1966, p. 377.

¹¹⁵ Goldstein, e Swerdlow, 1971 pp.135-170.

¹¹⁶ Goldstein e Swerdlow, p. 136.

¹¹⁷ Goldstein e Swerdlow, p. 136.

na data em que o copista escreveu o manuscrito, isto é em 1272. Só em 1979 é que George Saliba o identificou como Mu'ayyad al-Dīn al-'Urdī¹¹⁸.

Independentemente da identidade do astrónomo, foi possível associá-lo, primeiro, à escola de Marāgha com base nas propostas, motivações e inovações mencionadas no texto: “Ibn al-Shāṭir was familiar with this text, or one closely related to it”¹¹⁹; e, depois, ao responsável pela produção do modelo dos planetas superiores, descrito por al-Shīrāzī:

“A first working hypothesis, however, was to assume that Marsh 621 was some earlier work of Shirazi reproduced in the Nihayat al-Idrak of Qutb al-Din in a different format. That hypothesis ran into immediate problems, for the author of Marsh 621 is referred to as deceased by 1272 A.D (...) whereas Qutb al-Dīn was still writing in 1281 A.D, and lived till 1311.”¹²⁰

Al-'Urdī, um astrónomo que terá nascido entre a antiga Palmira e Rusafa (Síria), foi então reconhecido com um dos primeiros membros desta “escola”. Trabalhou como engenheiro, professor de geometria e, segundo Petra Schmidl¹²¹, também de astronomia. Por volta de 1250, recebeu um convite de al-Ṭūsī para participar na construção do observatório e em 1259 chegou a Marāgha. *Kitāb al-hay'a*, كتاب الهيئة, o seu trabalho mais importante sobre astronomia teórica, foi produzido anteriormente e tratava-se de uma crítica ao *Almagesto* e às *Hipóteses planetárias* onde apresentou um conjunto de modelos alternativos.

O encontro contínuo de astrónomos da “escola de Marāgha” teve um impacto grande em história da ciência árabe sobretudo porque implicava que teria existido, no período medieval tardio, uma forma nova e mais avançada de astronomia que, possivelmente, teria chegado à Europa e influenciado Copérnico. Até aí, os astrónomos, quer árabes, quer ocidentais, seguiam uma tradição essencialmente ptolemaica, na medida em que mantinham as mesmas estruturas e teorias propostas no século II d.C. – não porque se tenha deixado de estudar fenómenos celestes, mas porque o *Almagesto* foi o melhor e mais completo livro de astronomia durante séculos. Nele foram representados uma série de modelos matemáticos que, seguindo determinados princípios, descreviam os movimentos celestes com um grande nível de precisão. Os astrónomos medievais, que foram percebendo as alterações em determinados parâmetros destas teorias, propuseram-se a identificá-los para, depois, os corrigir.

“Now, Ptolemy had considered all these parameters to have been constant, at least during three hundred years between Hipparchus and himself, and thus in the ninth century astronomers were confronted with the difficult question. Had these parameters really changed in the intervening seven hundred or so years, or were Ptolemy's determinations simply

¹¹⁸ Saliba, 1994, pp.113-118.

¹¹⁹ Goldstein e Swerdlow, p. 146.

¹²⁰ Saliba, 1994, p. 121.

¹²¹ Schmidl, 2007.

erroneous? While this is something of an over-simplification of a considerable diversity of opinion, the conclusion that had the greatest effect on medieval European astronomy was the incorrect one: Ptolemy had not erred, for the parameters were subjected to long period variations that were necessarily periodic.”¹²²

Para que os modelos mantivessem os níveis de precisão ptolemaicos, procurava preservar-se a estrutura e os princípios das teorias originais, corrigindo apenas os parâmetros que sofressem alterações em períodos de tempo alargados. Pretendia-se sobretudo uma descrição teórica dos movimentos celestes para que fosse possível prever, em qualquer data, a posição de qualquer astro. A esses modelos não se exigia que fossem verdadeiros, mas que funcionassem, mantendo a astronomia uma disciplina fundamente matemática e descritiva. Apesar de vários astrónomos árabes terem começado a criticar o *Almagesto* desde o século IX, com questões relacionadas com os princípios da filosofia natural, tanto quanto se sabe, nessa fase, nenhum deles se tinha proposto a desenvolver alternativas sérias. Os modelos, e a astronomia teórica em geral, mantinham-se ptolemaicos. Quando se diz que, com os astrónomos associados à escola de Marāgha e Copérnico, começou uma tradição “mais avançada”, refere-se a uma que já se orientava nesse sentido, isto é, no de propor um programa que procurasse juntar a precisão descritiva matemática com os princípios de filosofia natural.

Em relação à história da ciência árabe, sendo importante distinguir duas formas de astronomia – uma primeira que, apesar de colocar questões físicas aos modelos matemáticos ptolemaicos, ainda os mantinha; e uma segunda que, integrando o critério de rigor com o de veracidade, se propunha a construir modelos alternativos aos primeiros – é igualmente importante lembrar que estas duas não podem ser completamente separadas. Pelo contrário, a segunda parece ter resultado do desenvolvimento da primeira, na medida em que, sem uma fase de “dúvidas” (شكوك; *Shukūk*)¹²³, talvez não existisse espaço para outra de novas propostas. A questão que, então, se coloca relaciona-se com a possibilidade de se identificar uma fase inicial na nova forma de astronomia: a partir de que altura e porque motivo se terão começado a construir novos modelos. Numa fase inicial, Kennedy sugeriu que essa astronomia estaria relacionada com o observatório de Marāgha. O problema com esta hipótese é que, apesar de o observatório ser um lugar fixo, activo num período relativamente curto (1259-83), este grupo de astrónomos parece não o ter sido. À medida que se procurava investigar quem seriam os astrónomos e quais as suas motivações, tornava-se cada vez mais evidente que “Marāgha” seria, na verdade, uma simplificação de um fenómeno que, afinal, parecia ter sido bastante mais complexo. J. Ragep começou por argumentar neste sentido, explicando que

¹²² Swerdlow e Neugebauer, p.5.

¹²³ Saliba, 2014, p. 94.

“Marāgha, for all its importance in the history of Islamic observational astronomy and teaching, was simply one episode in a very long and complex story of Islamic theoretical astronomy. (...) Tūsi had developed his non-Ptolemaic models long before coming to Marāgha and compiling his *Tadhkira*. ‘Urḍī as well seems to have developed his models prior to his Marāgha residence, and Shīrāzī’s *Nihāya* and *Tuḥfa* were written after leaving Marāgha. And to call an Ibn al-Shāṭir, a Qushji, a Birjandi or any other late medieval Islamic astronomer writing in various regions of the Islamic world part of his “Marāgha school” substitutes shorthand for history. Later astronomers certainly acknowledged the importance of what had occurred in the 13th c., not only at Marāgha but elsewhere, but they would have seen this as part of a long historical process that, for some, had begun with Ibn al-Haytham, for others even earlier; in short, they considered themselves not part of some ‘school’ but ongoing members of a hay’a tradition.”¹²⁴

A partir do século XI, a *hay’a* (هيئة), um termo geralmente traduzido como *forma* ou *configuração*, foi usado por vários astrónomos, principalmente em territórios árabes orientais, para definir uma nova forma de astronomia, distinta da anterior, a ‘Ilm al-nujūm (علم النجوم) – a ciência das estrelas. Naṣīr al-Dīn al-Tūṣī apresentou-a, da seguinte forma, na introdução do *al-Tadhkira*:

"موضوع الهيئة الأجرام البسيطة العلوية والسفلية من حيث كمياتها وكمياتها و
أوضاعها وحركتها اللازمة لها. ومبادئها المحتاجة إلى البيان تتبين في علوم ثلاثة: ما بعد
الطبيعة، والهندسة، والطبيعات ومسائلها معرفة تلك الأجرام بأعيانها وأشكالها، وكيفية
نضدها وحركتها، ومقادير الحركات والأبعاد، وعلل اختلاف الأوضاع." ¹²⁵

“O assunto da astronomia [*hay’a*] são os corpos simples, superiores ou inferiores, em relação às suas quantidades e qualidades e os movimentos que lhes são apropriados. Os princípios que necessitam de demonstração são demonstrados em três ciências: a metafísica, a geometria e a filosofia natural. As suas questões são o conhecimento desses próprios corpos e das suas formas; do modo como se organizam; do seu movimento; das dimensões dos movimentos e distâncias; e dos motivos da variação de posições.”

A origem desta disciplina é atribuída principalmente a Ibn al-Haytham (965-1039) – um matemático conhecido sobretudo pelo trabalho em óptica – porque, além de ter aprofundado as críticas de astrónomos como al-Fārābī, propôs também novos objectivos à astronomia. Não se trata da primeira pessoa a aplicar o termo *hay’a* no contexto da disciplina – Qusṭā ibn Lūqā, قسطا، (m. 900) fê-lo no século X – mas sim do primeiro, tanto quanto se sabe, a descrever tão articuladamente os fundamentos da nova astronomia¹²⁶. Fê-lo, primeiro, no *Al-Shukūk ‘ala*

¹²⁴ Ragep, 1993, p. 56.

¹²⁵ Ragep, 1993, p.91.

¹²⁶ Segundo Saliba, *hay’a* tratava-se de uma disciplina que já existiria no século X com Qusṭā ibn Lūqā, “[b]ut at no time before Ibn al-Haytham was this new understanding of the fundamentals of new astronomy so well articulated” (Saliba, 2007, p.104).

Baṭlamyūs (الشكوك على بطليموس) – *Dúvidas sobre Ptolemeu* – um comentário ao *Almagesto*, às *Hipóteses Planetárias* e à *Óptica*. Criticava, aí, uma descrição dos movimentos celestes baseada em mecanismos “imaginários”, que, por serem incoerentes com os princípios da filosofia natural, não se poderiam entender como verdadeiros. Sendo que os astros teriam movimentos reais, supunha-se que existisse uma forma, ou configuração, real através da qual eles se movessem. Seria essa configuração que os astrónomos deveriam procurar e descrever.

"فترض هيئة متخيلة في دوائر و خطوط متخيلة تتحرك تلك الحركات (...). فارتكب هذه الطريقة اضطراراً، لأنه لم يقدر على غيرها و ليس إذا فرض الإنسان خطأ في تخيله و حركته في تخيلة تحرك في السماء خط نظير لذلك الخط مثل تلك الحركة. و لا إذا تخيل الإنسان دائرة في سماء وتخيّل الكوكب متحركاً على تلك الدائرة تحرك الكوكب على تلك الدائرة المتخيلة وإذا كان ذلك كذلك، فالهينات التي فرضها بطليموس للكواكب الخمسة هي الهيئة باطلة، وقررها على علم منها بأنها باطلة، لأنه لم يقدر على غيرها. و الحركات الكواكب هيئة صحيحة في أجسام موجودة لم يقف عليه بطليموس و لا وصل إليها. لأنه ليس يصح أن توجد حركة محسوسة دائمة حافظة لنظام و ترتيب إلا و لها هيئة صحيحة في أجسام موجودة." 127

“Então, [Ptolemeu] supôs uma configuração imaginária, em círculos e linhas imaginárias, que movesse esses movimentos (...). Seguiu esse caminho necessariamente, porque não conseguiu encontrar outro. Mas se alguém supor uma linha imaginária e a mover na sua imaginação, não se segue que uma linha, correspondente a essa linha, se move no céu com esse movimento; se alguém imaginar um círculo no céu e imaginar um planeta em movimento nesse círculo, não se segue que o planeta se move nesse círculo imaginário. Mesmo se fosse assim, então as configurações supostas por Ptolemeu para os cinco planetas seriam falsas e ele supô-las sabendo que estavam erradas, porque não conseguiu obter outras. Mas existem configurações verdadeiras para os movimentos dos planetas em corpos existentes, os quais Ptolemeu não compreendeu nem encontrou. Porque não é admissível que um movimento perceptível, perpétuo e uniforme exista sem ter uma configuração verdadeira num corpo existente.”

Procurando uma astronomia que dispensasse os mecanismos ptolemaicos “imaginários”, Ibn al-Haytham tentou resolver os problemas no modelo das latitudes planetárias, em *Al-Maqāla fī ḥarakat al-iltifāf* (الإلتفاف الهيثم المقالة في حركات), um texto que, embora não tenha sido encontrado, é mencionado por astrónomos posteriores¹²⁸. No *Hay’a al-‘Ālam* (هيئة العالم), *A Configuração do Universo*, procurou ainda formular uma explicação sobre a forma com que “the various components of the Ptolemaic models operated and ultimately fit together”¹²⁹.

¹²⁷ Ibn al-Haytham, 1971, pp. 41-42.

¹²⁸ Ragep, S, 2017, p. 151 [n.61]: “Ibn al-Haytham’s *Al-Maqāla fī ḥarakat al-iltifāf* is not extant but has been reconstructed from later accounts. F.J. Ragep, “Ibn al-Haytham and Eudoxus,”

¹²⁹ Ragep, S, 2017, p.152.

A partir do século XI, *hay'a* foi sendo definida como uma tradição de astronomia matemática, interessada em estudar não as causas, mas as formas com que os mundos sub e supralunar se organizavam. Embora Ibn al-Haytham se tenha concentrado apenas nos céus, obras como o o *Muntahā al-idrāk fī taqāsīm al-aflāk* (منتهى الإدراك في تقاسيم الأفلاك) de 'Abd al-Jabbār al-Kharaqī, عبد الجبار بن محمد الثابتي الخرقى, (m. 1138), o *Al-Mulakhkhaṣ fī 'ilm al-hay'a al-basīṭa* (الملخص في الهيئة البسيطة) de Maḥmūd ibn Muḥammad ibn 'Umar al-Jaghmīnī, محمود بن محمد بن عمر, (m. 1221), ou o *al-Tadhkira* de al-Tūṣī – que, mais tarde, se tornaram em manuais – dividiam-se geralmente em duas partes: Uma “sobre a configuração dos corpos superiores”¹³⁰ e outra “sobre a configuração da Terra”¹³¹. Os astrónomos incluídos nesta tradição procuravam, sobretudo, produzir modelos coerentes com os princípios da filosofia natural. Neste sentido, apesar de não se preocuparem em demonstrar os princípios filosóficos e geométricos – que seriam tratados noutras disciplinas –, autores como al-Tūṣī propunham também “uma descrição acerca do que é necessário saber-se em relação à geometria”¹³² e “uma descrição sobre o que é necessário admitir-se da filosofia natural”¹³³. Ibn al-Shāṭir, na introdução de *Nihāyat al-Sul*, foi mais longe, na medida em que, através da revisão de alguns princípios definidos pela filosofia aristotélica, justificou a aplicação dos modelos e mecanismos descritos ao longo do livro. Enquanto Aristóteles defendia, com base num conjunto de premissas, que nos céus só existiriam movimentos simples, ou seja, circulares uniformes em relação ao centro do universo, o astrónomo damasceno propunha, seguindo o mesmo raciocínio, que deveriam existir também movimentos com um certo nível de composição: “Porque existem alguns movimentos celestes simples-compostos, como vamos explicar, se Deus quiser”¹³⁴. É nesse sentido que, partindo da análise de *Nihāyat al-Sūl*, historiadores como Saliba ou Erwan Penchèvre já encontram uma abordagem realista na astronomia medieval árabe: “In the real sense Ibn al-Shāṭir’s novel assumption was the only one I [i.e, Saliba] know of where an astronomer actually confronted the Aristotelian assumption with a set of his own”¹³⁵.

“Ces considérations ne peuvent être justifiées que si elles sont compatibles avec la théorie planétaire : or on ne peut faire justice à Ibn al-Šaṭir sans insister sur le fait que, pour la première fois dans l’histoire de l’astronomie, la théorie planétaire et la cosmologie sont unies en un tout cohérent.”¹³⁶

O estudo destes textos e autores foi promovido, segundo S. Ragep, em observatórios, mesquitas, cortes e madraças, principalmente em estados árabes orientais, até ao século XVI.

¹³⁰ Piemontese, 2014, fol: 4r: “في هيئة الأجرام العلوية”

¹³¹ Piemontese, 2014, fol: 39v: “في هيئة الارض”

¹³² J. Ragep, 1993, p. 93: “في ذكر ما يحتاج إلى معرفته مما تتعلق بالهندسية”

¹³³ J. Ragep, 1993, p. 99: “في ذكر ما يحتاج في هذا العلم إلى تسليمه من الطبيعيات”

¹³⁴ Penchèvre, 2017, p.34: “لكون بعض الحركات الفلكية بسيطة مركبة على ما يأتي بيانه ان شا الله تعالى”

¹³⁵ Saliba, 2007, p.120.

¹³⁶ Penchèvre, 2017, p.26.

Samarqanda é provavelmente o melhor exemplo de um centro procurado por estudantes e sábios para aprofundar estudos em ciências matemáticas, não só pelo observatório de Ulugh Beg, mas também pela madraça. É necessário apontar-se que, apesar de a madraça ser uma instituição direccionada para os estudos islâmicos, seria errado assumir-se à partida que a “[a]stronomy, Greek philosophy and the natural sciences were excluded as being ‘foreign’ or alien sciences”¹³⁷. A *Dakhwariyya*, em Damasco, por exemplo, era especializada no estudo de medicina. O termo “foreign” ou “alien”, segundo Hodgson, aplicava-se ao que hoje se chamariam ciências exactas, no sentido em que elas não dependiam da língua árabe ou da revelação islâmica¹³⁸. Uma vez que as madraças variavam bastante consoante “local circumstances and interests of their professors and sponsors”¹³⁹, o programa ou currículo destas instituições não pode ser generalizado, quer no tempo – entre os séculos XI e XVI – quer no espaço – em todos os territórios árabes. O facto de estarem principalmente direccionadas para estudos islâmicos e normativos não implicava, necessariamente, a exclusão de disciplinas científico-filosóficas:

“(…) even music and astronomy and philosophy were essentially normative in their bent; they were devoted primarily to tracing the ideal rules of natural harmony, the way human beings and the whole universe ought to work. They were mathematical or syllogistic to the highest degree possible, and took little account of the vagaries of observable actuality. The motion of the stars, uncorrupted by sublunar materiality, provided an image of cosmic order; the motions of the clouds did not seem to do so and were ignored. In such a scheme, study of ethics and law readily took the central place.”¹⁴⁰

Resumindo: depois do século XI o termo *hay’a* foi aplicado em astronomia para definir uma tradição ou disciplina com objectivos próprios. Apesar de promovida em instituições que teriam interesses e objectivos diferentes, os resultados e propostas formuladas circulavam entre os astrónomos através de manuais e instrumentos. Um exemplo desta circulação é Ibn al-Shāṭir, que trabalhava como *muwaqit* na mesquita de Damasco e acabou por desenvolver teorias de outros astrónomos, que trabalhavam no observatório de Marāgha para um mecenas que estava interessado sobretudo nos resultados astrológicos. Assumindo-se que Copérnico encontrou e percebeu alguns destes textos, é possível questionar-se se não terá sido motivado pelas mesmas questões que terão levado os astrónomos árabes a construir os modelos astronómicos.

O objectivo principal desta primeira parte foi contar o processo de descoberta da tradição *hay’a* em história das ciências e explicar de que forma é que essa implicou uma revisão historiográfica. Para que isso fosse possível, procurou privilegiar-se uma linha cronológica que

¹³⁷ Huff, 2017, p. 15; ver também Ofek, 2011, p.19: “The exclusion of science and mathematics from the madrassas suggests that these subjects “were institutionally marginal in medieval Islamic life”

¹³⁸ Hodgson, 1977b, p. 442

¹³⁹ Sabra, 1996, p.664

¹⁴⁰ Hodgson, 1977, p. 440.

contrastasse o ponto de partida, neste caso a primeira metade do século XX, com o ponto em que a história da ciência árabe se encontra hoje. Por se considerar que não era fundamental uma descrição técnica do problema, todas as incoerências, modelos e mecanismos, quer ptolemaicos, quer associados às tradições posteriores, foram descritos apenas de forma superficial, destacando-se sobretudo a importância e as implicações que tiveram em história da astronomia. Seria errado considerar, no entanto, que é possível ter-se uma visão relativamente completa tanto da nova tradição árabe, como da influência que pode, ou não, ter tido em Copérnico, sem se conhecerem também os mecanismos desenvolvidos. Por esse motivo, é necessária uma segunda parte onde se introduzam os detalhes técnicos omitidos em cima.

A apresentação das teorias astronómicas vai ser dividida em quatro partes: a primeira sobre os mecanismos inventados pelos astrónomos árabes, a segunda sobre o modelo da Lua, a terceira sobre o dos planetas superiores e a última sobre o de Mercúrio. Para cada um dos modelos, serão apresentadas, primeiro, a proposta ptolemaica, depois uma das formuladas no contexto da tradição *hay'a* e, por último, a copernicana. Pelo facto de esta dissertação procurar uma relação entre a tradição árabe e a ocidental, optou-se por apresentar o modelo árabe que parece ter influenciado o trabalho de Copérnico. Neste sentido, apesar de poder existir mais do que uma proposta válida para cada corpo celeste descrito, apresentar-se-á apenas aquele que mais se relaciona com a proposta copernicana. Ficam por descrever um conjunto de outros modelos, em alguns casos tão válidos como aquele que se optou por apresentar. Tendo em conta os objectivos da dissertação, também não serão discutidas nem as teorias dos movimentos em latitude, nem as do Sol. O modelo de Vénus não será especificamente discutido, uma vez que é bastante semelhante ao dos planetas superiores. Finalmente, resta ainda reforçar que se propõe, com esta parte, apenas uma apresentação das teorias astronómicas e não a descrição exaustiva das mesmas. Ao leitor que esteja interessado em aprofundar o conhecimento acerca do tema, recomenda-se a leitura do *Survey of the Almagest* de Olaf Pedersen (2011) e do *Mathematical Astronomy in Copernicus's De revolutionibus* de N. M. Swedlow e O. Neugebauer (1984) – nos quais esta dissertação se apoia.

Foi mencionado em cima que um dos principais objectivos associados à nova tradição árabe era a descrição da configuração do mundo. Para que tal fosse possível, eram necessários modelos astronómicos que conjugassem a precisão dos resultados ptolemaicos com os princípios da filosofia natural. Mencionou-se também que se acreditava não poderem existir, nos céus, outros movimentos que não fossem circulares uniformes. De acordo com Aristóteles¹⁴¹, o mundo sublunar, constantemente sujeito à geração e corrupção, e o supralunar, onde “no change appears to have taken place either in the whole scheme of the outermost heaven or in any of its proper

¹⁴¹ Aristotles, 1984, pp.447-511.

parts”¹⁴², distinguíam-se devido aos elementos pelos quais eram constituídos. Éter, “eternal, (...) unchanging and unmodified”¹⁴³, que predominava nos céus, era responsável pela eternidade e perfeição dos corpos celestes – os quais seriam esferas, que descreveriam perpetuamente movimentos circulares uniformes. Embora seja discutível se Ptolemeu, no *Almagesto*, pretendia construir modelos que fossem apenas descrições matemáticas dos movimentos celestes, o certo é que estes acabaram por incluir algumas incoerências, com os princípios da filosofia natural, que os impedia de corresponderem a uma descrição verosímil do universo. Os primeiros modelos astronómicos válidos sem essas incoerências foram desenvolvidos pelos astrónomos associados à tradição *hay’a*, árabe, e, mais tarde, por Copérnico. Tanto uns como os outros dependeram, em grande parte, de dois novos mecanismos, o lema de ‘Urđī e o par-de-Tūsī, que, mantendo os mesmos efeitos do modelo ptolemaico, eram incontestáveis do ponto de vista filosófico. Nesse sentido, a apresentação das teorias deve começar, necessariamente, com a descrição destes dois.

O lema-de-’Urđī foi introduzido no *Kitāb al-Hay’ah* (كتاب الهيئة), a propósito do movimento dos planetas superiores, por Mu’ayyad al-Dīn al-’Urđī da seguinte forma:

إنَّ كلَّ خطٍ مستقيمٍ نقيم عليه خطين مستقيمين متساويين في جهة واحدة فصيران زاويتين من الزاوي التي تحدث مع الخط أما الداخلة مع الخارجة و أما الداخلتان في هجة واحدة متساويتين ثم يوصل بين طرفيهما بخط مستقيم فانه يكون موازيا للخط الذي قاما عليه.¹⁴⁴

“Todas as linhas rectas, sobre as quais desenhemos duas linhas rectas iguais no mesmo lado, de modo a formarem, entre os ângulos produzidos com linha, dois ângulos iguais – quer o ângulo interior com o exterior, quer os dois interiores. As extremidades delas são, então, ligadas por uma linha recta que é paralela à linha sobre a qual se estenderam”.

Ou seja, erguendo dois segmentos iguais entre si, *AG* e *BD* (figura 1.1), num outro segmento, *AE*, de forma a descreverem ângulos alternados iguais com este segmento – por exemplo, o ângulo *GAB* igual ao ângulo *DBE* –, segue-se que a linha recta que ligar as duas extremidades dos dois primeiros segmentos será necessariamente paralela ao segmento *AB*.

¹⁴² Aristotles, 1984, p. 451.

¹⁴³ Aristotles, 1984, p.451.

¹⁴⁴ Mu’ayyad al-Dīn al-’Urđī, 1994 p. 129.

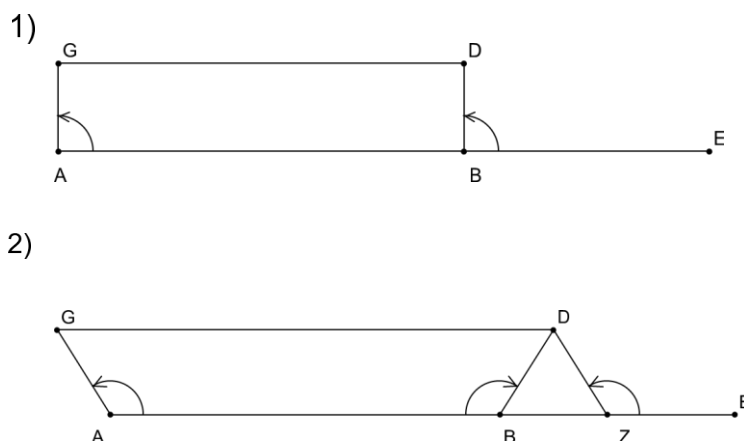


Figura 1.

Lema de Urdi – Erguendo dois segmentos com o mesmo comprimento sobre uma recta, de modo a formarem ângulos internos ou alternados iguais com ela, então segue-se que a linha que unir os dois primeiros segmentos será necessariamente paralela a essa recta.

O mesmo teorema pode ser aplicado se os dois segmentos, AG e BD , se erguerem sobre AE , de modo a formarem ângulos internos iguais, ou seja, $GAB = ABD$ (figura 1.2). Também neste caso, a recta que une as duas outras extremidades dos primeiros segmentos é necessariamente paralela a AE . Colocando um segmento, DZ , paralelo e com o mesmo comprimento de GA , na extremidade do segmento DB , este novo cairá sobre AE no ponto Z . Uma vez que GA e DZ apresentam, agora, os ângulos alternos iguais, então segue-se que, como em 1), a recta que unir as duas últimas extremidades dos três segmentos é necessariamente paralela a AB .

O par-de-Ṭūsī foi introduzido por Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī primeiro, em 1247, a propósito dos movimentos em latitude, no *Tahrīr al-Majisṭī* (تحرير المجسطي), e, mais tarde, em 1261, a propósito do movimento em longitude da Lua, no *al-Tadhkirah fī 'ilm al-hay'ah* (التذكرة في علم الهيئة)¹⁴⁵. Mencionam-se, aqui, as duas introduções porque, dependendo do contexto, a forma do mecanismo pode variar. Sendo que ambos partem dos mesmos princípios e provocam os mesmos resultados, correspondem a duas versões equivalentes do mesmo mecanismo. Trata-se sobretudo da produção de um movimento rectilíneo através de uma combinação de dois ou três movimentos circulares uniformes. Neste sentido, o par-de-Ṭūsī não apresenta apenas uma configuração, mas um conjunto de versões equivalentes, que dependem do propósito que lhes é atribuído. Esta dissertação tratará, sobretudo, das duas versões bidimensionais do par-de-Ṭūsī, existindo também

¹⁴⁵ Uma versão do par-de-Ṭūsī foi introduzida antes, no *Ḥall-i mushkilāt-i Mu'iniyyah*, (حلّ مشكلات معينية) – “But even then, the model still had a number of problems in both terminology and substance, which weren’t solved until the writing of the *Tadhkira* some fifteen years later.” Ragep, J. e Feldhay, (2016), p. 166.

outras tridimensionais, que o astrónomo introduziu a propósito da configuração das esferas celestes.

Em história das ciências, o par-de-Ṭūsī é importante não só pelas várias aplicações que foi tendo em astronomia, mas também por se tratar de um dos elementos centrais na discussão sobre a transmissão das teorias astronómicas. No contexto da ciência árabe, o mecanismo foi aplicado em modelos de vários astrónomos entre os quais al-Shīrāzī e Ibn al-Shāṭir. Na Europa, encontra-se uma versão descrita no *De revolutionibus* bastante semelhante à apresentada no *al-Tadhkira* – o que torna o mecanismo numa das “most curious sources of evidence for Copernicus’ knowledge of Islamic astronomical models”¹⁴⁶. Antes de Copérnico, outras versões do par-de-Ṭūsī foram descritas também por Nicolau Oresme, (1320-1382), no *Questiones de spera*; por Giovanni Battista Amico, no *De motibus corporum coelestium* (1536), e por Girolano Fracastoro, no *Homocentrica* (1538). A versão tridimensional de Amico, à qual J. Ragep chamou de “three-sphere curvilinear version”¹⁴⁷, e a bidimensional de Fracastoro, que aqui será referida como segunda versão do par-de-Ṭūsī, são relativamente distintas daquela que se encontra no *De revolutionibus*. Nicolau Oresme, pelo contrário, descreveu uma combinação de três movimentos circulares que seria equivalente, segundo J. Ragep, a uma “physicalized rectilinear version of the Ṭūsī-couple”. O problema com a descrição de Oresme é o facto de se tratar de uma passagem relativamente confusa, cujo objectivo seria, provavelmente, reflectir sobre a possibilidade de movimentos rectilíneos nos céus. “Thus while we can conclude that some combination of three uniform circular motions is to produce a back-and-forth rectilinear motion, we can only speculate as to just how this is to be accomplished”¹⁴⁸. Considerando a presença de todas estas versões do par-de-Ṭūsī em textos de astronomia ocidental, historiadores como Goddu ou di Bono têm proposto a possibilidade do mecanismo ter sido também inventado na Europa e, depois, desenvolvido na astronomia copernicana. Apontando, por um lado, para o facto de Oresme, Amico e Fracastoro não reclamarem a invenção dos mecanismos e os aplicarem numa “astronomy quite different from that of Copernicus”¹⁴⁹; e, por outro, para a semelhança das descrições no *al-Tadhkira* e no *De revolutionibus*, a possibilidade de transmissão continua a ser defendida por historiadores como J. Ragep ou Saliba.

Apesar de semelhantes e aplicados da mesma forma, o par-de-Ṭūsī no *De revolutionibus* não é idêntico ao que se encontra no *al-Tadhkira*. A diferença entre os dois tem provocado uma grande discussão entre os historiadores sobre a possibilidade de se tratarem de duas descobertas independentes. Willy Hartner, que defende a hipótese de transmissão dos textos árabes para a

¹⁴⁶ Barker, e Heidarzadeh, 2016, p. 23.

¹⁴⁷ Ragep, J e Feldhay, 2017, p. 171.

¹⁴⁸ Kren, 1971, p: 492.

¹⁴⁹ Ragep. e Feldhay, 2017, p. 196.

Europa, apontou em 1973¹⁵⁰ que, além das semelhanças já apontadas, os diagramas apresentados nos dois textos coincidiam também ao nível da escolha das letras introduzidas. Na maior parte dos casos, no lugar onde al-Ṭūsī colocou uma determinada letra do alfabeto árabe, Copérnico colocou a letra do alfabeto latino cujo som é equivalente. Como se irá esclarecer mais à frente, este fenómeno não acontece com todos os caracteres até porque os mecanismos não são completamente iguais. Não é, então, consensual entre os historiadores que Copérnico tenha tido contacto com algum texto que introduzisse o par-de-Ṭūsī. Ainda assim, face a todas as semelhanças, vários especialistas têm vindo a defender que foi esse o caso. O que se segue é uma apresentação, primeiro, das duas versões bidimensionais introduzidas por Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī e, depois, da descrita por Copérnico. No final, pretende-se chegar a uma pequena comparação entre os dois.

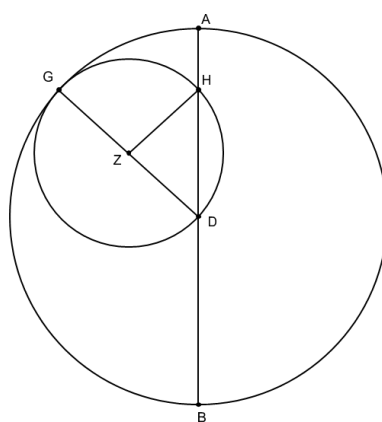


Figura 2

1ª versão do Par-de-Ṭūsī – Coloque-se um círculo pequeno, DHG , dentro de um círculo grande, AGB , cujo diâmetro é igual ao dobro do diâmetro do círculo pequeno. Se os dois círculos se moverem em sentidos opostos e a velocidade do pequeno for igual ao dobro da velocidade do maior, então existirá um ponto na circunferência do círculo pequeno – H – em movimento linear sobre o diâmetro AB do círculo grande.

A versão principal do par-de-Ṭūsī foi introduzida no capítulo XI do *al-Tadhkira* para ser, logo depois, aplicada no modelo da Lua. Trata-se de um mecanismo bidimensional (figura 2) que consiste em dois círculos: um pequeno (الصغيرة; al-saghīra), DHG , e outro grande (الكبيرة; al-kabīra), AGB , em que o raio do primeiro é igual à metade do segundo. O pequeno encontra-se dentro do grande e é-lhe sempre tangente no ponto G . Os dois círculos apresentam movimentos circulares uniformes em sentidos opostos e com velocidades diferentes: AGB move-se em sentido directo com metade da velocidade de DHG , enquanto DHG se move em sentido retrógrado com o dobro da velocidade de AGB . Do conjunto dos dois movimentos, resulta um ponto, H , que se move em linha recta sobre o diâmetro AB – movimento que al-Ṭūsī representou numa imagem

¹⁵⁰ Hartner, W. (1973). Copernicus, the Man, the Work, and Its History. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 117(6), pp.413-422.

semelhante à figura 3. Ao provar que um movimento rectilíneo pode ser formado a partir de dois circulares uniformes, seguia-se que, ao contrário do que era sugerido pela filosofia aristotélica, este movimento podia existir nos céus.

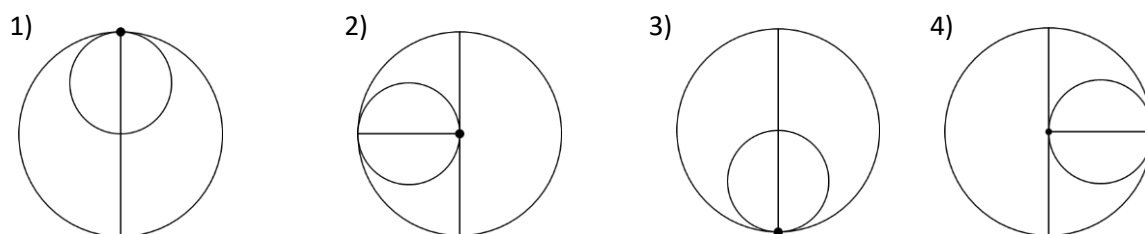


Figura 3.

Movimento linear de um ponto a partir do par-de-Tūsī. O círculo grande move-se em sentido retrógrado com metade da velocidade do círculo pequeno que, por sua vez, se move em sentido directo.

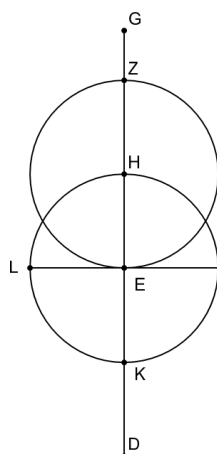


Figura 4.

2ª versão do Par-de-Tūsī – Centre-se o círculo ZE num ponto H da circunferência de um círculo com o mesmo diâmetro – HLK . Mova-se HLK em torno do centro E , no sentido directo com metade da velocidade do círculo ZE que, por sua vez, se move no sentido retrógrado em torno do centro H . Do conjunto dos dois movimentos resulta um ponto, Z , na circunferência círculo ZE , em movimento linear sobre a linha GD .

A segunda versão do par-de-Tūsī, introduzida em 1247, no *Taḥrīr al-Majisī* (تحرير المجسطي; Comentário ao *Almagesto*), a propósito do modelo para os movimentos em latitude, está representada na figura 4. A única diferença entre esta e a versão descrita em cima está no facto de os dois círculos terem diâmetros iguais. Ambos continuam a descrever movimentos circulares uniformes em sentidos opostos e com velocidades diferentes: HLK move-se em torno do centro E , no sentido directo com metade da velocidade do círculo ZE ; enquanto ZE , por sua vez, se

move no sentido retrógrado em torno do centro H com o dobro da velocidade de HLK . Do conjunto dos dois movimentos resulta um ponto, Z , na circunferência do segundo círculo, que se move continuamente ao longo da linha GD (figura 5). Esta versão do par-de-Ṭūsī, completamente equivalente à anterior, não foi só aplicada por Copérnico, mas por Ibn al-Shāṭir no modelo de Mercúrio.

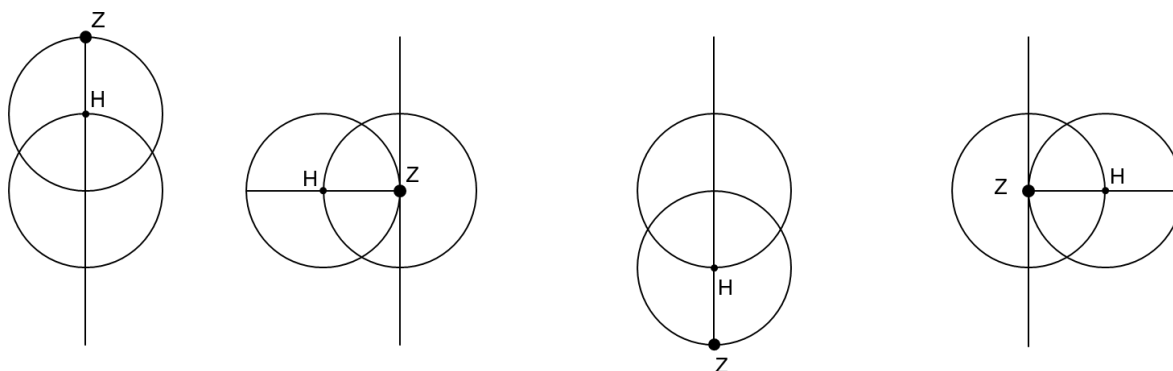


Figura 5.

Ponto Z em movimento linear na segunda versão do par-de-Ṭūsī.

Ao contrário de al-Ṭūsī, que apresentou várias versões bidimensionais e tridimensionais para, depois, aplicar em contextos distintos, Copérnico descreveu apenas uma forma bidimensional (figura 6) que, depois, usou em vários modelos. Tal como na primeira versão descrita em cima, também esta é formada por dois círculos, um pequeno, DGH , e um grande, AGB , em que o primeiro, com um raio igual à metade do raio do segundo, se encontra dentro do círculo maior de modo a ser-lhe sempre tangente no ponto G . Os dois círculos apresentam movimentos circulares uniformes em sentidos opostos e com velocidades diferentes: DGH move-se no sentido retrógrado com o dobro da velocidade de AGB , enquanto AGB se move no sentido directo com metade da velocidade de DGH . Da combinação destes dois movimentos resulta um ponto, H , que se move em linha recta ao longo do diâmetro AB . Até aqui, o mecanismo é exactamente igual ao que al-Ṭūsī apresentou no *al-Tadhkira*. Mesmo os nomes das letras, como Willy Hartner e George Saliba¹⁵¹ apontaram, são quase todas equivalentes a nível fonético. Onde al-Ṭūsī colocou um alif (ا), Copérnico colocou um “A” cujo som é idêntico. O mesmo se passa com as letras د, ب, ج, ه, cujos sons correspondem aos das letras D, B, G, H, respectivamente. A única letra em que os diagramas não correspondem é F, cuja equivalente, no alfabeto árabe é ‘faa’, ف. Neste caso, al-Ṭūsī apontou um ز, zaay. Uma vez que as duas letras são bastante semelhantes, poderiam ter sido facilmente confundidas num diagrama, onde estão desenhadas fora de um

¹⁵¹ Saliba, 2008, p.196.

contexto frásico. Sendo que, em todos os outros casos, existe uma correspondência fonética, é possível que o tradutor tenha trocado a última letra. No entanto, seguindo a argumentação de Blåsjö¹⁵², e tendo em conta as restantes letras do diagrama, é também possível que Copérnico estivesse a seguir a ordem do alfabeto latino.

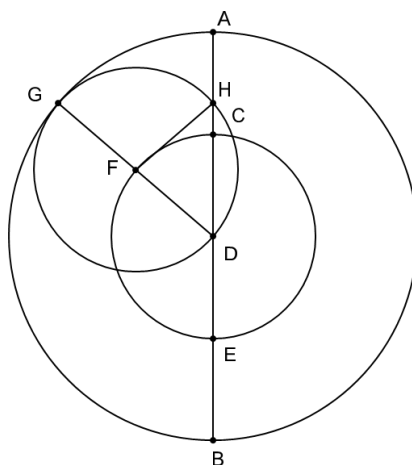


Figura 6

Versão copernicana do par-de-Ṭūsī. O conjunto dos movimentos de *AGB* e *DGH* correspondem ao que, aqui, se chamou de primeira versão do par-de-Ṭūsī, enquanto o conjunto dos movimentos de *DGH* e *EFC* são equivalentes à segunda versão.

O mecanismo apresentado em *De revolutionibus* não se limita aos dois círculos descritos até agora. Existe ainda um terceiro, *EFC*, concêntrico com círculo grande, *AGB*, com um raio igual ao de *GDH*. Este novo círculo, como o grande, move-se no sentido direto com metade da velocidade do círculo pequeno. Da combinação do movimento do novo círculo, *EFC*, com o círculo pequeno, *GHD*, resulta também um ponto *H* que se move linearmente sobre o diâmetro *AB*. Ignorando o círculo exterior, *AGB*, os dois interiores resultam numa figura equivalente ao que aqui se chamou de segunda versão do par-de-Ṭūsī.

Comparando os diagramas apresentados por al-Ṭūsī e Copérnico, é, agora, evidente que os mecanismos não são idênticos. Di Bono propôs que o apresentado no *De revolutionibus*, teria sido construído por Copérnico e correspondia a uma versão nova e diferente do par-de-Ṭūsī “(and why would he do this if it were copied?)”¹⁵³. Considerando que os dois astrónomos partiam fundamentalmente das mesmas críticas à astronomia ptolemaica, Di Bono sugeriu que “the

¹⁵² Blåsjö, 2007, p.186: “Copernicus’s lettering is simply the Latin alphabetical one, in the order in which the points occur in his accompanying proof. So it is precisely the lettering one would expect in the Latin after all.”

¹⁵³ Di Bono, 1995, p.147; Goddu, 2010, p.484.

reciprocal device (...) could equally well have derived from an independent reflection on [the] same problems”¹⁵⁴.

Barker e Heidarzadeh propuseram uma hipótese diferente. Comparando a análise da demonstração de Copérnico no capítulo IV do terceiro livro, os autores concluíram que, aí, o círculo *AB* “plays no role in Copernicus proof beyond erecting the line segment *AB*, on which the harmonic motion will take place. The circle is entirely superfluous”¹⁵⁵. Os dois círculos interiores, no entanto, constituem o mecanismo que o astrónomo aplicou quer no modelo para a trepidação e precessão, quer no modelo dos movimentos em latitude. No de Mercúrio, contudo, foi aplicado um mecanismo correspondente ao que, aqui, se chamou de primeira versão do par-de-*Tūsī*, sem nenhum círculo interior. Considerando, por um lado, as duas versões bidimensionais propostas por al-*Tūsī* – como os respectivos objectivos – e, por outro, a versão copernicana e a forma como foi aplicada no *De revolutionibus*, Barker e Heidarzadeh propuseram que a terceira se tratava de uma espécie de mecanismo intermédio que incluía, em si mesma, as duas primeiras versões.

“Thus, if we ignore the suggestion made above that the version of the *Tūsī* couple presented and proved in *De revolutionibus* III, 4 is an intermediary between the two (...) versions, we would be led to the conclusion that in the Mercury model Copernicus has used a pattern of the *Tūsī* couple that he has not used in *De revolutionibus*. A more plausible reading would be that Copernicus expects his audience to be able to construct physical counterparts to all the patterns of the *Tūsī* couple, and the way the figures in III, 4 are drawn, and especially the inclusion of the otherwise irrelevant circle *ABG*, are intended to assist this process.”¹⁵⁶

Partindo desta última hipótese, os dois autores propõem que tenha ocorrido uma transmissão do par-de-*Tūsī* para a Europa à qual Copérnico terá tido acesso. Uma vez que historiadores como Blåsjö continuam a defender a possibilidade de, pelo contrário, o astrónomo polaco ter desenvolvido um mecanismo introduzido na astronomia europeia por Oresme, Amico ou Fracastoro, não foi possível chegar-se a um consenso e a polémica mantém-se. A descoberta de manuscritos árabes e bizantinos, que terão chegado às bibliotecas europeias até ao século XVI, no entanto, permitiram evidenciar que o par-de-*Tūsī* terá sido transmitido, de alguma forma, para a astronomia ocidental. No final do capítulo serão apresentadas algumas dessas hipóteses de transmissão.

Depois de apresentados dois dos principais mecanismos usados tanto pelos astrónomos associados à tradição *hay’a*, como por Copérnico, torna-se mais simples entender a transição das teorias ptolemaicas, para as posteriores. Também nesse sentido, para cada uma das próximas três partes serão descritos os principais modelos propostos por cada astrónomo: primeiro Ptolemeu,

¹⁵⁴ Di Bono, 1995, p. 150.

¹⁵⁵ Barker e Heidarzadeh, 2016, p.34.

¹⁵⁶ Barker e Heidarzadeh, 2016 p. 36.

depois um dos astrónomos árabes e, finalmente, Copérnico. Será, então, possível dar ao leitor uma explicação relativamente detalhada acerca dos problemas e soluções que definiram a astronomia durante um período de, pelo menos, catorze séculos.

A ordem sequencial dos planetas no universo foi uma questão por resolver até ao início do século XVII, pelo facto de ser impossível calcular as distâncias deles à Terra a olho nu. A hipótese aceite pela maioria dos astrónomos foi provavelmente a que Ptolemeu apresentou no *Almagesto*: depois da Terra, estacionária no centro do universo, estava a esfera da Lua, depois a de Mercúrio, Vénus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno sucessivamente. Vénus, que alguns astrónomos, incluindo al-'Urḏī, consideraram estar acima a esfera do Sol, foi talvez o planeta cuja posição levantou mais dúvidas. Porém, aceitando que o Sol estava acima de Vénus e abaixo de Marte, era possível dividir-se naturalmente os planetas em dois grupos: os superiores, acima do Sol, e os inferiores, abaixo dele. Uma vez que os elementos do primeiro grupo apresentam o mesmo conjunto de fenómenos observáveis, a descrição das suas órbitas é equivalente e pode ser representada num só modelo, cujos parâmetros numéricos, como as velocidades e as distâncias, são, depois, ajustados aos valores próprios de cada planeta. O modelo de Vénus, apesar de já incluir algumas alterações mais significativas, acabou por ser bastante semelhante ao dos planetas superiores. O mesmo não se passa com Mercúrio, cuja órbita é bastante mais excêntrica, levando os astrónomos a construir-lhe um modelo próprio. Além disso, é necessário relembrar que os movimentos em longitude são tratados independentemente dos movimentos em latitude. Neste texto serão abordados apenas os modelos dos planetas e da Lua em longitude, tratados como fenómenos bidimensionais que ocorrem no plano da eclíptica. A descrição do desvio desse plano é tratada especificamente na teoria dos movimentos em latitude. Finalmente, recorde-se mais uma vez que a astronomia tinha como um dos princípios fundamentais o uso exclusivo de movimentos circulares uniformes. Todos os fenómenos celestes deveriam ser descritos apenas a partir destes.

Para se descrever o movimento dos planetas superiores, como os de qualquer astro, devem ser apontados, em primeiro lugar, os principais fenómenos observados a partir da Terra. Por um lado, os planetas descrevem uma órbita de 360°, de Este para Oeste, com uma velocidade angular variável, a partir da qual é possível determinar, para cada um individualmente, um período sideral médio (tempo que demora a regressar à mesma estrela de onde partiu) e um período tropical médio (tempo que demora a regressar ao mesmo ponto na eclíptica de onde partiu). No *Almagesto*, Ptolemeu baseou-se principalmente no segundo. Por outro lado, os planetas descrevem uma série de fenómenos relacionados com o Sol, ou seja, sinódicos, entre os quais os mais óbvios são as conjunções, quando o planeta se encontra alinhado com o Sol (visto da Terra, está depois dele), e as oposições, quando o planeta está no lado oposto ao do Sol e a Terra se encontra entre dos dois. Outros fenómenos sinódicos são as retrogradações, ou seja, movimentos observáveis em que o planeta, durante o movimento de Este para Oeste, fica momentaneamente estacionário, começa a

mover-se de Oeste para Este, volta a ficar estacionário e, depois, regressa ao movimento de Este para Oeste. As retrogradações relacionam-se com as oposições, na medida em que uma oposição ocorre sempre no meio de cada movimento em retrogradação. Estes são os três principais fenómenos sinódicos dos planetas superiores e é possível determinar, a partir de cada um deles, um período sinódico médio. Como Pedersen referiu, “it is an empirical fact that the synodic period of a given planet is the same regardless of the particular phenomenon used for determining it.”¹⁵⁷

Apontados os principais fenómenos observacionais, é possível determinarem-se, primeiro, movimentos circulares uniformes a partir dos períodos médios definidos e, depois, as anomalias ou irregularidades que desviam esses movimentos e os tornam irregulares. Nesse sentido, definiu-se que a primeira anomalia representaria a variação de velocidade ao longo da eclíptica e a segunda anomalia, os fenómenos sinódicos, nomeadamente as retrogradações. A partir destas duas, “all other deviations from uniform motions are to be explained in terms of a suitable geometric model”¹⁵⁸. Ou seja, deveria ser possível encontrar dois mecanismos que representassem, cada um, uma das anomalias e combiná-los de forma a construir um modelo que previsse a posição de determinado planeta em qualquer altura. Colocou-se, assim, o planeta, *P* (figura 7.), em movimento num epiciclo, cujo centro, *C*, se movia, por sua vez, em torno de um excêntrico – um círculo cujo centro não coincide com o centro do universo, neste caso a Terra, *T*, mas com um ponto que está ligeiramente afastado dela, *D*. A primeira anomalia, a velocidade do planeta ao longo da eclíptica, era descrita pelo excêntrico e a segunda, relacionada com o movimento do Sol, pelo epiciclo. O modelo ptolemaico final, no entanto, é um pouco mais complexo.

Ptolemeu determinou inicialmente um “circle of uniform motion”¹⁵⁹, excêntrico, em torno do qual o centro do epiciclo se deslocaria com movimento circular uniforme. Este círculo, que os astrónomos latinos chamaram de *circulus equans*, é conhecido hoje como círculo equante. O problema com a teoria ptolemaica foi que, logo depois de determinar a distância a que o centro deste círculo, *E*, se teria de encontrar da Terra, *T*, se incluiu um outro círculo, o deferente, em torno do qual o planeta passou a mover-se uniformemente e cujo centro foi colocado entre o ponto Equante e a Terra. Isto significava que o centro do epiciclo já não se movia circular e uniformemente em relação a um determinado ponto, mas circularmente em relação a um, o centro do deferente, e uniformemente em relação a outro, o centro do equante. Os modelos ptolemaicos acabaram por incluir, desta forma, uma solução incompatível com um dos princípios fundamentais da astronomia clássica. Ptolemeu nunca justificou esta proposta e ainda não é certo qual o motivo que o terá levado a construí-la. Segundo Pedersen¹⁶⁰, é provável que, numa fase

¹⁵⁷ Pedersen, 2011, p.263.

¹⁵⁸ Pedersen, 2011, p.264.

¹⁵⁹ Pedersen, 2011, p.277

¹⁶⁰ Pedersen, 2011, p. 278.

inicial, se tenha desenvolvido um modelo mais simples que, por qualquer razão, tenha sido insatisfatório e levado à construção do modelo final, com um círculo equante distinto do deferente. A combinação dos dois círculos descreve, provavelmente, melhor a variação do tamanho do epiciclo aparente, um factor que influencia tanto a variação do “length of the retrograde arc, which can be found directly by observation”¹⁶¹, como a latitude dos planetas. Pedersen, contudo, considera mais plausível que Ptolemeu tenha constatado que o conjunto dos dois círculos descreva melhor as variações de velocidade do planeta. “This means that the first model might have been unable to account for the velocity of the planet in different parts of the eccentric circle, particularly at oppositions”¹⁶². Seja como for, o certo é que o modelo ptolemaico acabou por incluir um círculo deferente, um ponto equante e um epiciclo (figura 7).

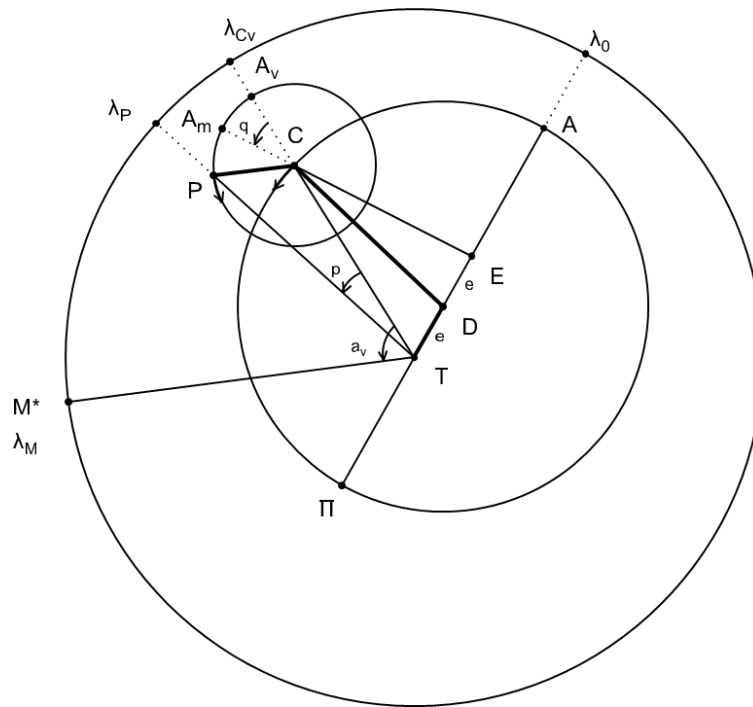


Figura 7

Modelo ptolemaico para os planetas superiores. O Planeta, P , move-se em torno de um epiciclo que, por sua vez, circula em torno de um deferente excêntrico. O epiciclo de centro C move-se circularmente em torno do centro do deferente, D , mas uniformemente em relação ao ponto equante E .

Do movimento em sentido directo do centro do epiciclo, C , resultam duas projecções diferentes: o centro verdadeiro c_v , que é a projecção do centro do epiciclo a partir da Terra, e o

¹⁶¹ Pedersen, 2011, p. 278

¹⁶² Pedersen, 2011, p.278.

centro médio, c_m , a projecção do centro do epiciclo a partir do de movimento uniforme, E . Estes dois relacionam-se através equação dos centros sob a forma $c_v = c_m + q(c_m)$, que funciona como a correcção que é necessária aplicar-se ao centro médio para a determinação do centro verdadeiro. Do mesmo modo, as longitudes dos dois, medidas a partir do apogeu, $A(\lambda_0)$, relacionam-se sob a forma $\lambda_{cv} = \lambda_{cm} + q(c_m)$, onde λ_{cv} corresponde à longitude verdadeira do centro do epiciclo e λ_{cm} à longitude média.

A descrição do movimento anomalístico do planeta no epiciclo depende do movimento do Sol e de duas variáveis: o argumento médio, A_m , ou seja, o ponto, no epiciclo, que está mais distante do ponto equante, E , e o argumento verdadeiro, A_v , ou seja, o ponto, no epiciclo, que está mais distante do centro da Terra T . Tal como no caso dos centros médio e verdadeiro, também os argumentos se relacionam com equação dos centros sob a forma $a_v = a_m - q(c_m)$, onde $q(c_m)$ é negativo pelo facto de o planeta se mover, no epiciclo, em sentido directo. Já a relação dos planetas com Sol, foi determinada por Ptolemeu, num dos postulados fundamentais do *Almagesto*, e definia que o movimento do astro se acoplaria ao dos planetas superiores sob a forma $\lambda_M = \lambda_p + a_m$. Esta ligação entre os dois movimentos, que também implica que $\lambda_M = \lambda_c + a_v$, implica que o raio do epiciclo CP seja sempre paralelo à linha TM . Finalmente, a longitude verdadeira do planeta, λ , determinada a partir da Terra, é calculada a partir do ângulo $p = PTC$, a *prosthaphairesis*, a qual se tratava da função que relaciona as variáveis das duas anomalias, c_m e a_v sob a forma $\lambda_p = \lambda_c + p(c_m, a_v)$

Embora bastante preciso do ponto de vista técnico, o modelo ptolemaico para os planetas superiores foi criticado por alguns astrónomos árabes e Copérnico sobretudo pela incoerência ao nível da filosofia natural. Relembrando que no mundo supralunar só existiam movimentos circulares uniformes, qualquer modelo que pretendesse descrever as órbitas reais dos planetas teria de ser constituído apenas a partir de mecanismos que se movessem circular e uniformemente em relação a um ponto. Com a introdução do ponto equante, separado do centro do deferente, o epiciclo passou a mover-se uniformemente em relação a um ponto, mas circularmente em relação a outro. Embora a solução permitisse descrever as órbitas celestes, era incoerente e impossível do ponto de vista físico. Com o objectivo de criar modelos astronómicos tão válidos como os ptolemaicos, sem que, no entanto, levantassem as mesmas questões, os astrónomos associados à tradição *hay'a* e Copérnico construíram dois conjuntos de modelos bastante semelhantes entre si, com a diferença de serem geo e heliocêntricos, respectivamente. No caso dos primeiros, apesar de existir mais que uma proposta válida, nomeadamente as de al-'Urđī e de Ibn al-Shāṭir, será apresentada em baixo a mais semelhante à descrita no *De revolutionibus* (figura 8), a de al-'Urđī.

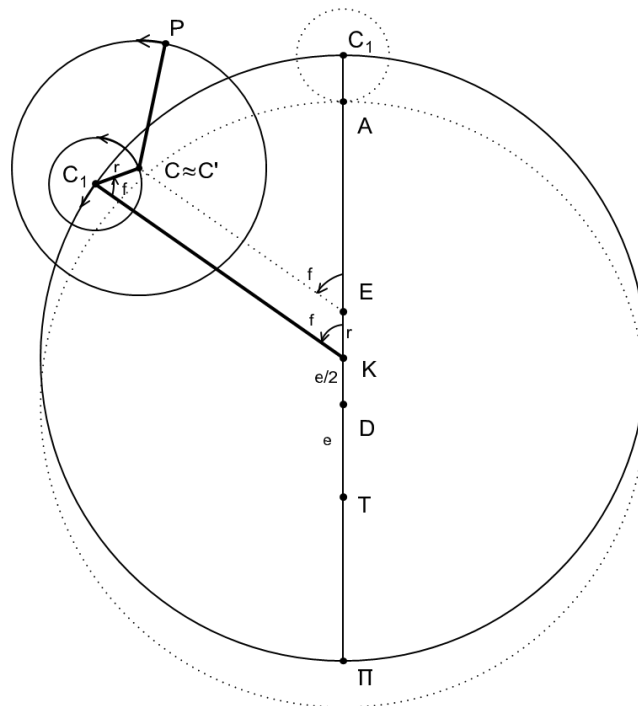


Figura 8.

Modelo de al-'Urđi para os planetas superiores. Colocou-se um novo círculo em torno do deferente, sobre o qual se move o centro do epiciclo principal – onde circula o planeta. O lema de Urđi é aplicado para provar que o segmento KC_1 (que une o centro do deferente ao centro do novo epiciclo) vai ser sempre paralelo a CE (que une o centro do epiciclo principal ao equante). Desta forma, o segundo centro, que parece mover-se uniformemente em relação ao equante, move-se, na verdade, circular e uniformemente em relação ao centro do novo epiciclo que, por sua vez, se desloca com movimento circular uniforme sobre o centro do deferente.

Em primeiro lugar, foi introduzido um novo deferente, de raio igual a 60_p , cujo centro K , se encontra no meio do centro deferente ptolemaico, D , e do ponto equante, E . Em torno deste círculo, introduziu-se um pequeno epiciclo, de raio igual à distância entre o centro, K , e o equante, E , ou seja, $\frac{e}{2}$, cujo centro, C_1 , se move circular e uniformemente em torno de K . Sobre o epiciclo pequeno move-se, por sua vez, o centro do epiciclo principal, C , que se encontra, sempre, numa posição bastante próxima à que se encontraria o centro do epiciclo ptolemaico, C' , sobre o antigo deferente. A diferença entre as posições de C e C' é mínima e pode ser negligenciada. Note-se que, desta forma, o novo modelo de acaba por reproduzir os mesmos resultados e fenómenos observacionais que o antigo ptolemaico. Em torno do epiciclo principal, o planeta move-se como se movia no modelo anterior, mostrando que as objecções de al-'Urđi, e mais tarde as de Copérnico, “to Ptolemy’s model were not on the ground of accuracy – indeed, no one before Tycho and Kepler was in a position to evaluate its accuracy – nor on the grounds of a serious

defect (...), but only that it violates the principle of uniform circular motion”¹⁶³. Tendo resolvido este problema, o modelo torna-se completamente válido.

O lema de Urđi foi aplicado aqui para provar que o segmento KC_1 , que une o centro do deferente ao centro do novo epiciclo, vai ser sempre paralelo a CE , que, por sua vez, une o centro do epiciclo principal ao equante. Assim, o segundo centro, que parece mover-se uniformemente em relação ao equante, move-se, na verdade, circular e uniformemente em relação ao centro do novo epiciclo que, por sua vez, se desloca com movimento circular uniforme sobre o centro do deferente. Como Saliba referiu, “with the spheres all moving uniformly, in place, around axis that passed through their centres, ‘Urđi managed to avoid the absurdity of the Ptolemaic equant altogether, and, at the same time, still retain its observational value, as was required by the Ptolemaic observations”¹⁶⁴.

Também Copérnico, com as mesmas objecções que as levantadas no contexto da tradição *hay’a*, propôs um conjunto de modelos para descrever os movimentos dos planetas e da Lua. Segundo a dedicatória que escreveu ao papa Paulo III no *De revolutionibus*, o principal objectivo do astrónomo foi construir modelos que não só fossem mais simétricos entre si, mas também que se baseassem somente em movimentos circulares e uniformes. O heliocentrismo, a maior inovação à astronomia ptolemaica, foi aí mencionado quase como um meio, através do qual teria sido possível chegar-se a este objectivo. Na carta prefacial do *De revolutionibus*, provavelmente com o intuito de facilitar a recepção do livro, Osiander sugeriu precisamente que o heliocentrismo se tratava apenas de um instrumento, com o qual os movimentos dos planetas podiam ser descritos teoricamente, sem quaisquer objecções filosóficas. Atenção, esta não seria a opinião do próprio Copérnico, que, por um lado, pede aos “talentosos e sábios matemáticos” que ponderem “não superficialmente, mas em profundidade”¹⁶⁵ as ideias expostas naquela obra e, por outro, propõe uma análise das consequências físicas provocadas pelo movimento da Terra¹⁶⁶ – redundantes se o astrónomo estivesse apenas a explorar uma ideia abstracta. A simetria do conjunto dos modelos, mencionada na introdução e na carta prefacial do *De revolutionibus*, parece ser tratada por Copérnico mais como um argumento do que como uma prova para o heliocentrismo. O que se pretende reforçar aqui, também com a carta de Osiander, é que a maior vantagem que um astrónomo do século XVI encontraria nos modelos copernicianos, face aos ptolemaicos, era o facto de estes, por se basearem apenas em movimentos circulares uniformes, não incluírem incoerências físicas e filosóficas. É importante ter em atenção que, no contexto europeu da época, a educação em astronomia passava não só por Ptolemeu, mas também por autores como Peurbach e Regiomontano que, de formas diferentes, propunham uma disciplina constituída não só por

¹⁶³ Swerdlow e Neugebauer, 1984, p.293.

¹⁶⁴ Saliba, 2007, p. 154.

¹⁶⁵ Copérnico, 2014, p.11.

¹⁶⁶ Copérnico, 2014: Ver livro 1, capítulos V, VI, VII, VIII e IX

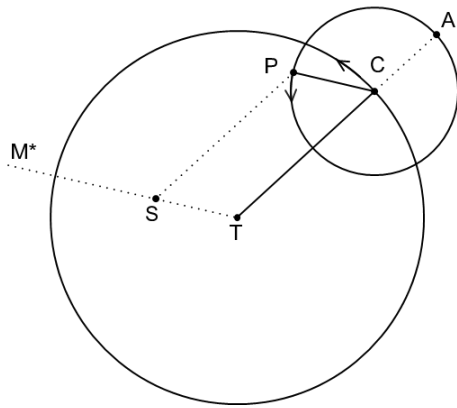
descrições teóricas, mas também pelo estudo dos fenómenos reais associados aos corpos celestes. Ou seja, desde o final do século XV, vários astrónomos europeus começaram a interessar-se por teorias físicas que, consequentemente, fossem coerentes com os princípios da filosofia natural. A diferença entre tradição ocidental e a *hay'a* está nas próprias críticas apontadas à astronomia ptolemaica que, na Europa se centravam não no ponto equante, mas no excêntrico e no epiciclo. Idealmente, todos os modelos astronómicos deveriam ser constituídos por círculos concêntricos em relação à Terra – uma ideia formulada inicialmente por al-Biruni num texto traduzido por Michael Scott no século XIII. Copérnico, com as críticas e propostas que faz no *De revolutionibus*, parece ter proposto uma solução intermédia, que descrevesse tanto precisa, como realisticamente as órbitas dos corpos celestes. “Considered historically, his objections are of considerable interest because they were likewise the motivation of the principal innovations in late medieval planetary theory”¹⁶⁷.

Os modelos copernicianos partem dos mesmos princípios que os ptolemaicos e árabes medievais no sentido em que, também estes pretendem descrever a órbita de um planeta, primeiro, através do movimento médio e, depois, das anomalias responsáveis pelo desvio que o planeta tem deste. Existe, contudo, uma diferença em relação a Ptolemeu e aos astrónomos árabes. Os modelos apresentados anteriormente descrevem duas anomalias: a primeira, associada ao movimento na eclíptica com velocidade variável; e a segunda, associada ao movimento do Sol. No caso dos planetas superiores, quer Ptolemeu, quer os astrónomos árabes, representaram a primeira anomalia através de um deferente e a segunda através de um epiciclo. Uma vez que as críticas levantadas por al-‘Urdī diziam respeito sobretudo ao círculo deferente e ao ponto equante que separavam o movimento circular do uniforme, a solução proposta, no caso dos planetas superiores, dizia respeito sobretudo à primeira anomalia. A segunda continuou a ser representada por um epiciclo, cujo centro se encontrava numa posição bastante próxima à do epiciclo ptolemaico. O mesmo já não se passa com os modelos copernicianos.

A principal diferença entre as teorias árabes medievais e as copernicianas está no facto de as primeiras serem geocêntricas e as segundas heliocêntricas. Assim, enquanto a primeira anomalia é representada da mesma forma, a segunda deixa de se relacionar com o movimento do Sol, que agora está estacionário, para se relacionar com o da própria Terra, que agora se move em torno do Sol. Swerdlow e Neugebauer representaram esta troca de movimentos numa figura equivalente à 9.

¹⁶⁷ Swerdlow e Neugebauer, 1984, pp.293-294

1)



2)

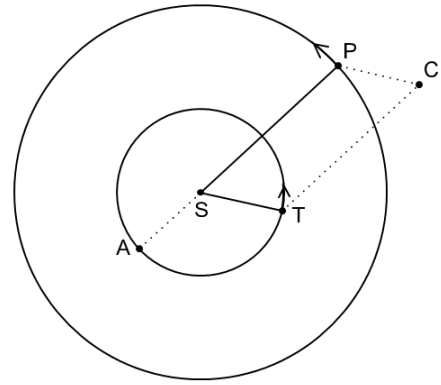


Figura 9

Troca de movimentos entre o Sol e a Terra no modelo dos planetas superiores. O Sol, S , é colocado estacionário entre a Terra, T , e o centro do epiciclo, C . Atribui-se à Terra um movimento em sentido directo entre o Sol, S , e o planeta, P .

No modelo dos planetas superiores, Ptolomeu impôs o postulado de que a linha CP , que ligaria o centro do epiciclo ao planeta, teria de ser necessariamente paralela à linha TM , que ligaria a Terra ao Sol médio. Imaginando que nesta última linha, existe um ponto S , entre a Terra e o planeta, segue-se que S se move no sentido positivo em torno de T . Determinando que o Sol está no ponto S e que, em vez da Terra, T , é este ponto que está em repouso, então T e P movem-se, em círculos diferentes, no sentido directo (Figura 9.2).

Aplicando a troca de movimentos entre o Sol e a Terra na segunda anomalia do modelo de al-‘Urḍī, obtém-se o modelo que Copérnico apresentou no *De revolutionibus*. Imaginando (figura 10. 1) que a distância da Terra ao Sol, ST , se encontra à mesma distância que o centro do epiciclo principal ao planeta, C_2P ; e que o centro do deferente, no modelo heliocêntrico, se encontra à mesma distância do Sol que, no modelo geocêntrico, da Terra, é possível determinar um modelo completamente equivalente ao de al-‘Urḍī, com a Terra em movimento em torno do Sol estacionário. “The only difference (...) is the replacement of the Earth (...) by the mean sun S and of the centre of the epicycle C_2 by the planet P . All the fundamental properties of the models are identical”¹⁶⁸.

¹⁶⁸ Swerdlow e Neugebauer, 1984, p.296.

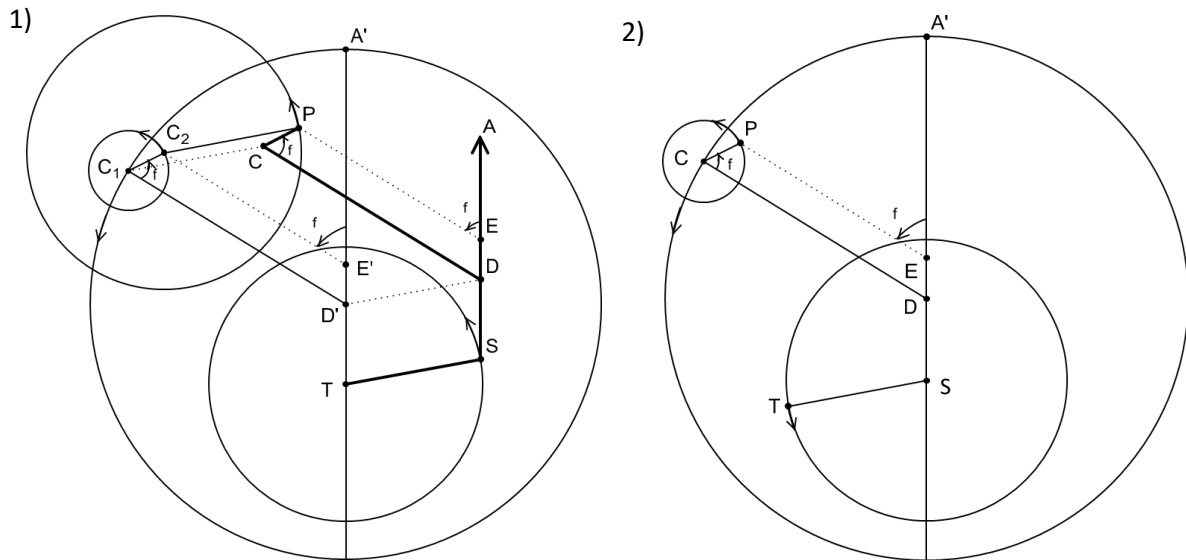


Figura 10

Passagem do modelo dos planetas superiores de al-'Urđī para o de Copérnico. Imaginando que a distância da Terra ao Sol, ST , se encontra à mesma distância que o centro do epiciclo principal ao planeta, C_2P ; e que o centro do deferente, no modelo heliocêntrico, se encontra à mesma distância do Sol que, no modelo geocêntrico, da Terra, é possível determinar um modelo completamente equivalente ao de al-'Urđī, com a Terra em movimento em torno do Sol estacionário.

Finalmente, é importante referir que não só neste caso, mas em qualquer modelo astronómico proposto quer pelos astrónomos árabes, quer por Copérnico, o ponto equante não deixa de desaparecer completamente. Através do lema de 'Urđī foi possível construir um modelo aparentemente baseado em movimentos circulares uniformes. No entanto, o ponto equante continua a ser determinante na definição da posição do planeta P , que se continua a mover uniformemente em torno dele.

Tal como o movimento dos planetas superiores, também o de Mercúrio pode ser descrito, primeiro, a partir dos movimentos médios circulares uniformes e, depois, dos respectivos desvios, ou anomalias que o planeta faz deles. Para que seja possível calcular-se cada um destes parâmetros é necessário reverem-se os principais fenómenos observacionais. Por um lado, Mercúrio move-se regularmente numa órbita com velocidade não uniforme. Determinando o valor da velocidade angular média, ωp , é, depois, possível identificar a primeira anomalia como o desvio que o movimento do planeta faz dessa velocidade. Por outro lado, Mercúrio, como Vénus, nunca está fora das proximidades do Sol e, portanto, nunca lhe está oposto. “When the elongation is eastern (and great enough) these planets are, therefore, seen as evening stars above the western horizon just after the sunset. When it is western they are seen as morning stars above the eastern horizon

just before the sunrise”¹⁶⁹. Este acoplamento do movimento dos planetas inferiores ao do Sol médio faz com que exista também uma segunda anomalia sinódica, ou seja, um desvio do movimento uniforme relacionado com o movimento médio do Sol. A principal diferença em relação aos planetas superiores é que, neste caso, a segunda anomalia está directamente relacionada com a velocidade angular média do planeta – que é exactamente igual à do Sol.

No modelo dos planetas superiores, as duas anomalias foram representadas por dois mecanismos diferentes, a primeira por um excêntrico e a segunda por um epiciclo. A primeira anomalia estava associada ao desvio que o movimento do planeta apresentava do período médio na eclíptica; a segunda associava-se a fenómenos sinódicos como os arcos de retrogradação. No caso de Mercúrio e Vénus, uma vez que a velocidade média está relacionada com o movimento do Sol, deve ser representada pela segunda anomalia embora continue, também, a ser representada pelo excêntrico. Desta alteração resulta que a primeira anomalia “can be regarded as independent and characteristic of the individual planet”¹⁷⁰ e será representada pelo movimento do planeta no epiciclo.

Ignorando o facto de o excêntrico e o epiciclo representarem anomalias contrárias às representadas no caso dos planetas superiores, uma vez que continuam a ser constituídos pelos mesmos mecanismos, não deveria existir qualquer motivo para que os modelos dos planetas inferiores não fossem semelhantes aos dos superiores. É esse o caso de Vénus. Mercúrio, no entanto, descreve uma órbita bastante mais excêntrica que, segundo Ptolemeu, ao contrário dos restantes planetas, apresenta dois perigeus: um em $\lambda_{\pi 1} = +120^\circ$, outro em $\lambda_{\pi 2} = -120^\circ$ ($\pm 120^\circ$ do apogeu). Deveria ser possível, então, desenvolver-se um modelo que descrevesse duas aproximações máximas de Mercúrio, numa volta ao deferente.

¹⁶⁹ Pedersen, 2011, p. 295.

¹⁷⁰ Pedersen, 2011, p.297.

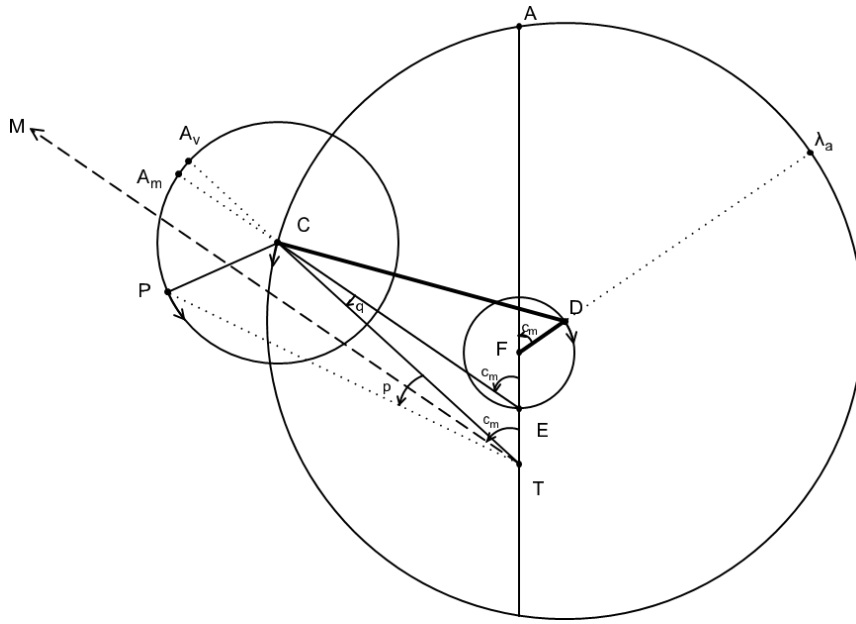


Figura 11.

Modelo da Lua ptolemaico. O centro do deferente, D , e o ponto equante movem-se em torno de um círculo pequeno concêntrico com a eclíptica.

A solução de Ptolemeu para a excentricidade de Mercúrio consistiu na aplicação de um “circulus parvus”¹⁷¹ sobre o qual andam o centro do deferente, D , e o ponto equante, E , de Este para Oeste com uma velocidade angular constante, igual à do Sol. O centro deste mecanismo, F , à distância $2e$ da Terra, T , define a linha dos auges a partir da extensão do diâmetro FT no deferente. Nesta encontram-se o apogeu, A , e o perigeu, π . O centro médio, c_m , é representado pela distância angular entre o segmento EC , que une o equante ao centro do epiciclo, e a linha dos auges e pode ser expresso sob a forma $c_m = \lambda_M(t) - \lambda_a$. O centro do deferente, D , move-se sobre o círculo pequeno de modo a formar, com a linha dos auges, um ângulo AFD , sempre igual ao centro médio, c_m . Desta forma, a distância, DE , entre o centro do deferente e o equante, ao contrário do modelo anterior, não é constante e oscila entre os valores e e $3e$. Além do centro médio, c_m , é também possível determinar-se o centro verdadeiro, c_v , que define a longitude do centro do epiciclo, C , a partir da linha dos auges, do ponto de vista da Terra, T e que pode ser expresso sob a forma: $c = \lambda_p - \lambda_a$. Como no modelo dos planetas superiores, os dois centros relacionam-se através da equação do centro (equatio centri), correspondente ao ângulo ECT , expressa sob a forma $c = c_m(t) + q(c_m)$.

O epiciclo move-se sobre o deferente, de raio igual ao valor arbitrário de 60_p , na direcção de Oeste para Este. O movimento do centro, C , cuja longitude pode ser determinada a partir do centro médio, c_m , está acoplado ao movimento do Sol na medida em que a linha EC , que une o

¹⁷¹ Pedersen, 2011, p. 316.

equante ao centro do epíclio, é sempre paralela à linha que une a Terra com a posição do Sol médio $T\lambda_M$. Note-se que, como no modelo dos planetas superiores, a segunda anomalia se representava pelo epíclio, este acoplamento ligava a longitude do Sol médio ao raio do epíclio CP , postulando que os dois teriam de ser, necessariamente, paralelos. Uma vez que, para os planetas inferiores, a segunda anomalia se representava pelo excêntrico, é a linha que une o ponto equante ao centro do epíclio, EC , que, aqui, tem de ser paralela à longitude do Sol médio.

O movimento de Mercúrio no epíclio é determinado principalmente a partir de dois argumentos. Por um lado, o argumento verdadeiro, $a_v = A_vCP$, calculado a partir do ponto A_v , que, no epíclio, se encontra mais distante da Terra, T . Por outro lado, o argumento médio, $a_m = A_mCP$, calculado a partir do ponto A_m , que, no epíclio, está mais distante do ponto equante, E . Sendo que A_m é constante, o movimento anomalístico de Mercúrio, P , vai ser uniforme em relação ao ponto equante, E . Neste modelo a *prostaphairesis*, p , corresponde à função que relaciona a longitude verdadeira do planeta com o centro verdadeiro do epíclio, e pode ser expressa pela função de duas variáveis representada sob a forma $p(a_m, c_v) = CTP$.

O modelo de Mercúrio foi um dos mais problemáticos de Ptolemeu. Pedersen começou por apontar alguns erros logo na determinação dos perigeus, que provavelmente estavam relacionados com a dificuldade das observações, e que terão influenciado a construção do modelo desde o início. Uma vez que o planeta se encontra sempre próximo do Sol, muitas vezes é impossível observá-lo a olho nu. Ainda assim, no que diz respeito aos objectivos dos astrónomos posteriores, a principal objecção relacionava-se não com os resultados observacionais, mas com as incoerências físicas ou filosóficas relacionadas com o ponto equante.

Tal como foi mencionado em cima, o modelo de Mercúrio deveria reproduzir um movimento que descrevesse uma trajectória aparentemente oval. O que essa trajectória implica é que deveriam existir dois pontos de distância mínima do planeta P à Terra, T . Por outras palavras, o movimento de Mercúrio descrevia uma órbita com dois perigeus. A solução ptolemaica consistiu na aplicação de um círculo pequeno, concêntrico com a eclíptica, em torno do qual o centro do deferente e o centro de movimento uniforme, o ponto equante, se moviam separadamente. O objectivo deste mecanismo era atrair o planeta para o centro do modelo durante os perigeus e afastá-lo durante o apogeu. Apesar de eficaz, a solução mantinha os centros dos movimentos circular e uniforme separados, levando a que Copérnico e os astrónomos árabes medievais a considerassem incoerente do ponto de vista físico. De forma a evitar as mesmas contradições, Ibn al-Shāṭir propôs outro modelo que conseguia o mesmo efeito de aproximação e distanciamento do planeta através do aumento e diminuição do raio do epíclio aparente – fenómeno que foi possível obter-se através da aplicação de um par-de-Ṭūsī.

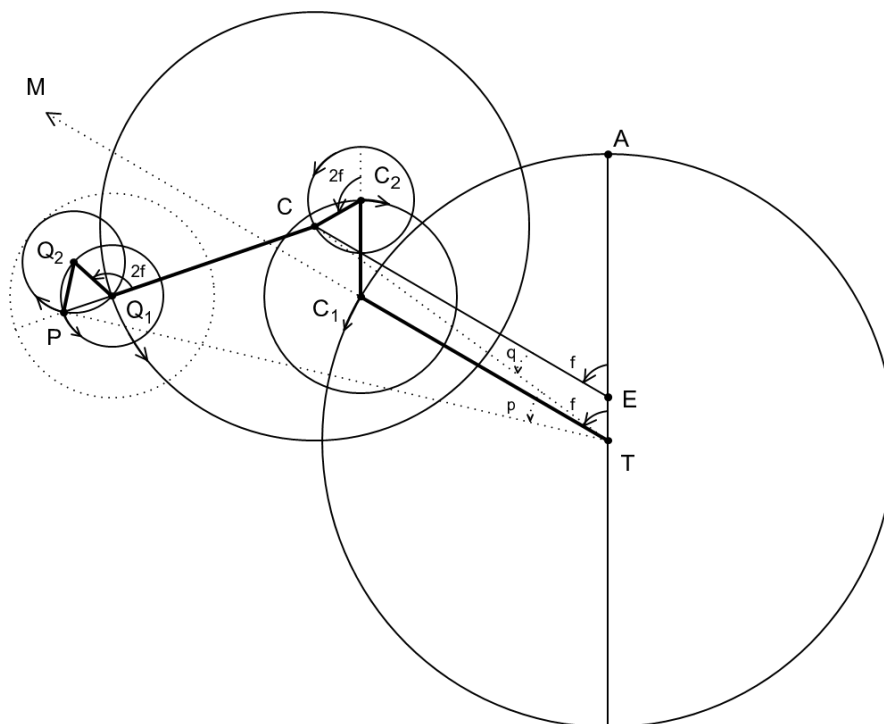


Figura 12

Modelo de Mercúrio de Ibn al-Shāṭir – O lema-de-‘Urḍī foi incluído para garantir que o centro do epiciclo principal, C , que aparenta mover-se uniformemente em torno do ponto equante, move-se, na verdade circular e uniformemente em torno de um primeiro epiciclo (de centro C_1). No final do epiciclo principal foi incluído um par-de-Ṭūsī.

No modelo de Mercúrio, Ibn al-Shāṭir incluiu dois novos epíclis, um, de centro C_1 que se move em torno do deferente na direcção do Sol médio, e outro, de centro C_2 , que se move sobre o primeiro e no qual circula o centro do epiciclo principal, C . Mais uma vez, o lema de Urḍi é aplicado para garantir que a linha imaginária EC , que une o ponto equante ao centro do epiciclo principal, se mantém paralela à linha TC_1 , que, por sua vez, une o centro do deferente ao centro do primeiro epiciclo. É criada a ilusão de que o epiciclo principal se move uniformemente em relação ao equante, E , quando, na verdade, tem um movimento circular uniforme em relação ao segundo novo epiciclo. Até aqui, o modelo é semelhante ao dos planetas superiores. A novidade do de Mercúrio é a introdução de um par-de-Ṭūsī sobre o epiciclo principal, no final do qual se encontra o planeta, P . Através deste mecanismo, quando o planeta se encontra na linha dos auges ($\lambda = 0^\circ$; $\lambda = 180^\circ$), os raios dos dois círculos, Q_1 e Q_2 , encontram-se sobre o raio do epiciclo principal, encurtando-o pelo valor da soma dos seus raios, diminuindo o tamanho do epiciclo aparente e, consequentemente aumentando a distância mínima do planeta à Terra. Já quando o planeta, P , se encontra nas quadraturas ($\lambda = 90^\circ$; $\lambda = 270^\circ$), os raios dos dois círculos, Q_1 e Q_2 encontram-se na extensão no raio do epiciclo principal, aumentando o epiciclo aparente pelo mesmo valor e diminuindo a distância mínima do planeta à Terra. “Thus the epicycle alternately

shrinks and expands smoothly as the mean planet progresses”¹⁷². Note-se que, apesar da elongação máxima do centro do epiciclo à linha dos auges ser nas quadraturas, a elongação máxima do planeta, em relação à Terra é a $\mp 120^\circ$ do apogeu. Este efeito, obtido através do par-de-Ṭūsī, leva a que o epiciclo aparente atinja o tamanho máximo nestas posições.

A proposta de Copérnico para o modelo de Mercúrio implica, por um lado, as mesmas alterações que Ibn al-Shāṭir propôs para a primeira anomalia e, por outro, as modificações necessárias para tornar o modelo geocêntrico. No entanto, uma vez que os fenómenos associados aos movimentos dos planetas inferiores são ligeiramente diferentes dos dos superiores, a troca de posições entre o Sol e a Terra já não pode ser representada pela figura 10. Neste caso, os movimentos do Sol e o do planeta foram acoplados por Ptolemeu através do postulado que determinava que a linha que ligava o ponto equante ao centro do epiciclo seria necessariamente paralela àquela que ligava a Terra ao Sol médio. Determinou-se, desta forma, que Mercúrio e Vénus não poderiam nunca ter uma distância angular muito diferente da do Sol.

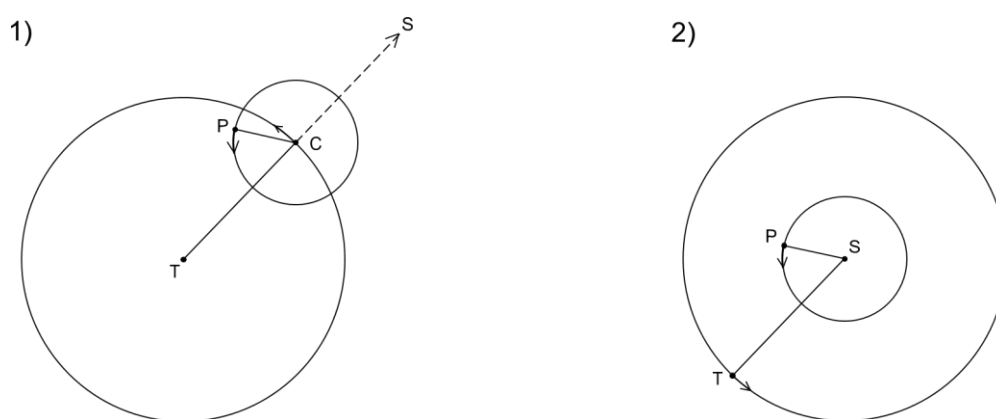


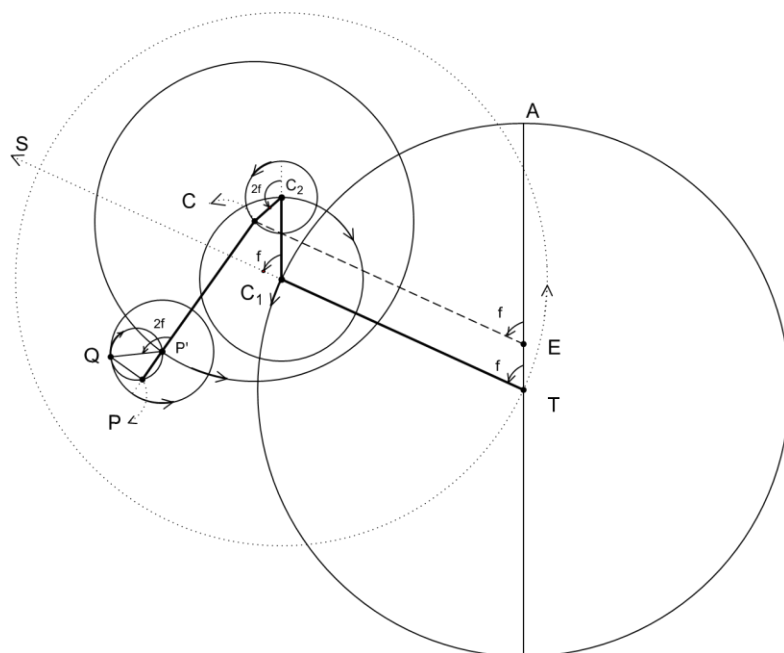
Figura 13

Troca de posições entre a Terra e o Sol nos planetas inferiores. Imaginando o Sol estacionário no centro do epiciclo, C , então atribui-se à Terra um movimento no sentido directo em torno do Sol, S , exterior à órbita do planeta, P .

Relembrando este postulado e sabendo que o ponto equante nunca está muito distante da Terra, T , é então possível verificar que a direcção do Sol médio vai estar sempre próxima do centro do epiciclo, C . Considerando que o Sol está estacionário nesse centro, então a Terra, T , terá de se mover em sentido directo, em torno do Sol, numa órbita mais externa à do planeta, P .

¹⁷² Kennedy e Roberts, 1959, p.232.

1)



2)

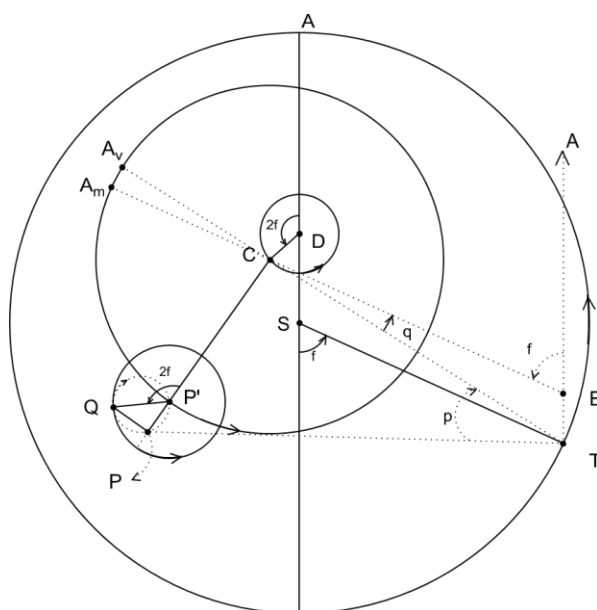


Figura 14

Passagem do modelo de Mercúrio de Ibn al-Shāṭir para o de Copérnico. A Terra é imaginada em movimento numa órbita exterior à de Mercúrio. O Sol foi colocado no centro do primeiro epiciclo e o deferente no centro do segundo.

Aplicando a troca de movimentos entre o Sol e a Terra ao modelo de Ibn al-Shāṭir, obtém-se um modelo equivalente e bastante semelhante ao que Copérnico propôs no *De revolutionibus* (figura 14.2). Neste último, D , que no modelo de Ibn al-Shāṭir corresponde ao centro do segundo epiciclo, C_2 , já não está em movimento, e representa o centro do excêntrico em torno do qual se

move o centro, C , da órbita de Mercúrio. As restantes alterações à representação ptolemaica da primeira anomalia correspondem às do astrónomo medieval.

A última parte da apresentação dos modelos astronómicos está relacionada com a Lua, cuja teoria se baseia nos mesmos princípios que a dos restantes planetas. Também aqui é construído um modelo para o movimento em longitude no mesmo plano que a eclíptica e, também aqui, se começa por determinar um movimento médio, circular uniforme, e os fenómenos anomalísticos através dos quais a Lua se desvia dele. Para que isso seja possível, é necessário relembrarem-se os principais fenómenos observacionais associados ao movimento do astro. Em primeiro lugar, a Lua descreve uma órbita em torno da Terra – é o único corpo celeste ao qual os três astrónomos atribuem movimento geocêntrico –, cuja velocidade não só não é uniforme, mas também varia, não uniformemente, ao longo da eclíptica, implicando que a Lua pode ter os valores de distância máxima e mínima em qualquer ponto da sua trajectória. Através deste movimento é, possível calcular-se um período trópico médio, ou seja, o tempo médio que a Lua leva a regressar ao mesmo ponto da eclíptica de onde partiu, e representar a primeira anomalia como o desvio que ela tem deste período. Em segundo lugar, a órbita lunar não é circular e descreve elongações, cuja posição varia em função da posição do Sol: “It has a maximum at the two quadratures and is zero twice during one synodic month”¹⁷³. Segundo Pedersen, “one of Ptolemy’s greatest personal contributions to astronomy”¹⁷⁴, foi a descoberta de que este fenómeno estava relacionado com o problema da evecção, ou seja, com a variação do tamanho aparente do epiciclo, que deve ser maior nas quadraturas e menor nas sizígias. Isto não só significa que é necessária uma segunda anomalia relacionada com o movimento do Sol, mas também que a trajectória da Lua apresenta dois apogeus e dois perigeus.

Para representar um movimento que descrevesse os fenómenos mencionados em cima, Ptolemeu aplicou neste modelo, como no de Mercúrio, um “*circulus parvus*”, concêntrico com a eclíptica, em torno do qual o deferente se moveria. Este círculo define-se a partir da linha dos auges que passa pelo centro D , na qual se encontram o apogeu, A , e o perigeu, π , isto é, os pontos em que a Lua se encontra mais perto e longe da Terra respectivamente. Como foi mencionado em cima, o que acontece com a maior parte dos planetas é passarem uma vez por cada um destes pontos num período de translacção. Uma vez que, no caso da Lua, a evecção é máxima em ambas as quadraturas e mínima em ambas as sizígias, o centro do epiciclo, C , tem de se encontrar duas vezes quer no perigeu, π , quer no apogeu, A . Neste sentido, enquanto o Sol se move de Oeste para Este, o deferente, onde se encontra a linha dos auges, move-se no sentido contrário, de Este para

¹⁷³ Pedersen, 2011, p.165.

¹⁷⁴ Pedersen, 2011, p.284.

Oeste, com a mesma velocidade que o centro do epiciclo, C . “ A must move in such a way that it follows the place of the Sun from one conjunction to the next following”¹⁷⁵.

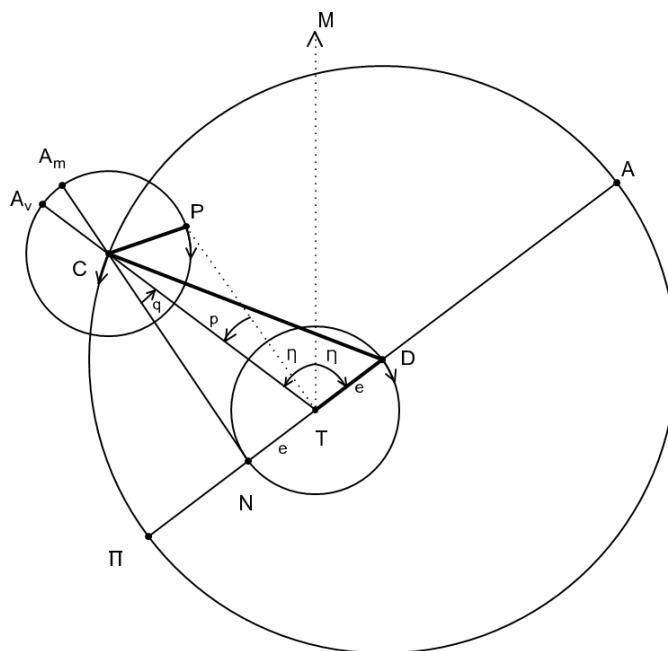


Figura 11

Modelo da Lua ptolemaico – O centro do deferente, o ponto equante e a linha dos auge foram colocados em movimento sobre um círculo pequeno. Em torno do deferente move-se o centro do epiciclo, em torno do qual se move, por sua vez, a Lua. O apogeu médio foi definido como o ponto, no epiciclo, que se encontra mais distante de, N , o ponto *prosneusis*, que se encontra no círculo pequeno, diametralmente oposto ao centro do deferente D .

Ao contrário dos restantes modelos, o da Lua apresenta um deferente de raio igual a $49^p; 41$, em vez de 60^p e o centro do movimento uniforme coincide com o centro do universo, T , e não com um ponto equante E . Daqui resulta que o centro do epiciclo, C , cuja longitude é igual à da posição média da Lua, se move sobre o círculo deferente de Oeste para Este, no mesmo sentido que o Sol, com movimento uniforme em relação a T . Sendo que o modelo da Lua foi o segundo a ser descrito, no *Almagesto*, logo depois do do Sol, “this is the first instance where Ptolemy violates the principle of uniform, circular motion in the strict sense without even mentioning this departure from a fundamental dogma in the philosophy of astronomy”¹⁷⁶. Da combinação entre o movimento do centro do epiciclo, C , e o do centro do deferente, D , segue-se que o primeiro descreve um movimento simétrico ao do apogeu A , na medida em que ambos se afastam da linha TM , que une a Terra ao Sol médio, com a mesma velocidade em sentidos opostos. Assim, se o ângulo MTC corresponde à elongação que a Lua média tem do Sol, segue-se que o

¹⁷⁵ Pedersen, 2011, p.186.

¹⁷⁶ Pedersen, 2011, p.187.

ângulo ATC , que mede a distância angular entre a apogeu e a Lua média, é sempre igual ao dobro dessa elongação.

A Lua move-se uniformemente em torno do epiciclo e, tal como nos modelos dos planetas, a sua posição pode ser determinada a partir de dois argumentos: o argumento verdadeiro e o argumento médio. O argumento verdadeiro, a_v , corresponde à distância angular entre o apogeu verdadeiro, A_v , e a Lua, P . O argumento médio, a_m , por sua vez, corresponde à distância angular entre o apogeu médio, A_m , e a Lua, P . Repare-se que, neste caso, o apogeu médio é definido como o ponto que, no epiciclo, está mais distante de, N , o ponto *prosneusis*, que se encontra no círculo pequeno, diametralmente oposto ao centro do deferente D . O objectivo do *prosneusis* é condicionar o movimento do o apogeu médio, A_m , de tal forma a que a Lua se encontre na posição mais precisa possível durante as octantes. Trata-se, então, de um ponto completamente abstracto que não coincide com o centro de nenhum dos círculos descritos pelo modelo e, por esse motivo, foi também alvo de críticas pela parte dos astrónomos posteriores aqui mencionados. A *equatio centri* relaciona os dois centros sob a forma $q(c) = a_v(t) - a_m(t)$. Finalmente, a equação dos argumentos relaciona a primeira e a segunda anomalia e pode ser expressa sob a forma $p(a_m, c_v) = CTP$. Trata-se da função que define a distância angular entre a Terra, T , e a Lua, P .

Apesar da precisão na determinação das posições sucessivas da Lua, este foi o modelo ptolemaico mais contestado pelos astrónomos posteriores. Em primeiro lugar, o centro do epiciclo foi colocado em movimento circular em torno do centro do deferente, mas em uniforme em torno da Terra, violando o princípio do movimento circular uniforme. Depois, sem qualquer justificação física, o ponto definido como o centro do movimento anomalístico do planeta, no epiciclo, ao contrário do que acontece nos outros modelos, não coincide com nenhum dos centros de movimento do planeta e é completamente abstracto. Contudo, o maior problema incluído neste modelo é o erro, evidente pelas observações, na descrição da variação da distância entre a Lua e a Terra. Com o aumento do epiciclo aparente, a Lua era colocada a uma distância muito menor da Terra do que aquela que era observada na realidade.

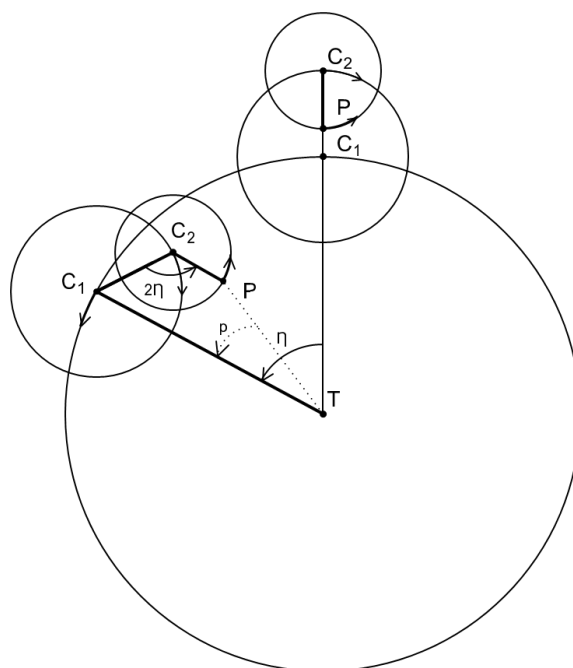


Figura 12

Modelo da Lua de Ibn al-Shāṭir. Foi colocado um primeiro epícolo em torno do deferente em movimento no sentido directo. O epícolo principal move-se em torno do primeiro epícolo com movimento retrógrado e, em torno deste, move-se o planeta com movimento directo.

De forma a evitar as críticas mencionadas em cima, Ibn al-Shāṭir propôs um modelo (figura 12) constituído, primeiro, por um deferente de raio igual a $1;0;0^p$ que se move circular e uniformemente em torno da Terra, T , e transporta sobre si, o centro do primeiro epícolo, C_1 . Este epícolo, de raio igual a $6;35_p$, move-se no sentido contrário ao deferente, de Este para Oeste, e transporta sobre si o centro do epícolo principal, C , de raio igual a $1;25^p$, onde circula a Lua. Tal como nos restantes modelos associados à tradição *hay'a*, a combinação dos dois epícolos funciona de forma a evitar a introdução de um outro centro para o movimento uniforme, distinto do centro do deferente. Para explicar a segunda anomalia, a Lua, L , é colocada sobre o segundo epícolo, em movimento no mesmo sentido que o deferente, de Oeste para Este, com uma velocidade igual ao dobro da elongação η , isto é, a distância angular entre a posição média da Lua e o Sol. A combinação destes movimentos implica que a Lua vai estar sempre no perigeu do epícolo principal durante as sizíguas e no apogeu durante as quadraturas. Como resultado, durante as sizíguas o raio do epícolo aparente é encurtado pelo valor do raio do segundo epícolo para $5;10_p$ e, durante as quadraturas, é aumentado pelo mesmo valor e para $8;0^p$. Da variação do tamanho do epícolo, segue-se que, nas sizíguas a distância da Lua varia entre $54;50^p$ e $15;10^p$ e, nas quadraturas, entre $52;0^p$ e $1;8^p$ – valores que, por sua vez, corrigem o tamanho do diâmetro aparente.

Em relação ao modelo coperniciano, este é o que mais se assemelha ao de Ibn al-Shāṭir porque, ao contrário do que acontece com os planetas superiores, colocava a Lua em movimento numa órbita geocêntrica. Relembrando o caso dos planetas, mencionou-se em cima que, embora Copérnico tenha proposto um modelo heliocêntrico, as soluções para os problemas associados à primeira anomalia eram bastante semelhantes às de Ibn al-Shāṭir. Dito de outra forma, excluindo o facto de serem geo e heliocêntricos, os primeiros e os segundos são equivalentes. Em relação à Lua, tendo em conta que já não era necessário alterar-se as posições do Sol e da Terra, à excepção de alguns parâmetros, os dois modelos são idênticos – “angle for angle, sphere for sphere”¹⁷⁷. Esta semelhança torna-se evidente através da comparação de alguns dos valores determinados por Ibn al-Shāṭir e Copérnico, que para o primeiro epiciclo, de centro C_1 , definiu um raio de $6;34,55,12_p$ e, para o segundo, de centro C , um de $1;25,19,12_p$. Desta forma, durante as sizíguas, o raio do epiciclo aparente é encurtado para $5;9,57,36_p$ e, durante as quadraturas aumentado para $8;0,14,24_p$ ¹⁷⁸. O modelo da Lua, provavelmente por ser o caso onde a semelhança com um dos modelos árabes é mais evidente, foi o primeiro a ser encontrado pelo grupo de Kennedy na segunda metade do século XX.

Para concluir a comparação entre alguns dos mecanismos e modelos de Ptolemeu, dos astrónomos árabes e de Copérnico, cabe uma reflexão sobre as hipóteses de transmissão entre os segundos e o último. Em cima, apontou-se que as teorias ptolemaicas foram sofrendo várias críticas, primeiro no império islâmico e depois na Europa. Em relação à tradição *hay'a*, no período medieval tardio, e a Copérnico, no início do século XVI, essas críticas centravam-se principalmente na coerência física com alguns dos princípios de filosofia natural. Uma vez que no céu só poderiam existir movimentos circulares uniformes, um modelo que descrevesse as órbitas reais dos corpos celestes deveria basear-se apenas nesses movimentos. Sendo que o ponto equante e o de prosneusis eram incoerentes com esse princípio, as propostas ptolemaicas não poderiam nunca descrever as órbitas reais dos corpos celestes. Além destas objecções, o modelo da Lua incluía ainda um erro observável ao aproximar demasiado o astro à Terra durante as quadraturas. Todas estas críticas levaram Copérnico e os astrónomos árabes a procurar mecanismos e modelos matemáticos que substituíssem os precedentes. Comparando algumas das propostas de Muayyad al-Din al'Urdu, Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī e Ibn al-Shāṭir com algumas das copernicanas, é possível perceber-se que, tirando o facto de serem geo e heliocêntricos respectivamente, os dois conjuntos de mecanismos e modelos são equivalentes. Chegando a esta

¹⁷⁷ Saliba, 2016, p. 196.

¹⁷⁸ Copérnico 2014, pp: 352-353: “No sistema de unidades em que CD, [a distância do centro do epiciclo à Terra], é igual a 10 000 unidades”, os valores que Copérnico apresenta para os raios do deferente, do primeiro e do segundo epiciclo são 1 334, 1 097 e 237 unidades respectivamente.

conclusão, coloca-se a questão da possibilidade de, partindo apenas dos modelos matemáticos, se retirarem conclusões acerca da transmissão de conhecimento.

Em cima, descreveram-se os modelos da Lua de al-Shāṭir e Copérnico, que, provavelmente por serem os mais semelhantes, foram os primeiros a ser comparados pelo grupo de Kennedy; o par-de-Ṭūsī que, apesar de não ser completamente idêntico, é equivalente ao diagrama representado no *De revolutionibus*; o lema-de-'Urḍī que, Copérnico, sem apresentar ou demonstrar, aplicou nos próprios modelos da mesma forma que os astrónomos árabes; e, finalmente, a teoria de Mercúrio e dos planetas superiores que, tirando uma troca de vectores, necessária pela troca de posições entre o Sol e a Terra, é semelhante à de Copérnico.

Em 2004, numa reflexão sobre as reacções historiográficas às descobertas de Kennedy, J. Ragep mencionou que, apesar de a maioria da comunidade de história das ciências ainda resistir a uma consideração séria sobre a influência árabe em Copérnico, esta hipótese tem sido bastante defendida não só por historiadores especializados em ciência árabe, mas também em ciências matemáticas. Mesmo sem uma prova concreta sobre a forma de transmissão, a base dos argumentos destes historiadores relaciona-se sobretudo com a proximidade das teorias astronómicas. Dois dos melhores exemplos, são Otto Neugebauer e Noel Swerdlow, a quem a análise e comparação dos textos levou a concluir que “the question is not whether, but when, where, and in what form he [i.e Copernicus] learned of the Marāgha theory”¹⁷⁹. Embora a justificação sobre a hipótese de transmissão esteja sempre dependente da coerência interna dos textos científicos, é fundamental considerar-se também o contexto histórico. Trata-se não só de encontrar uma prova concreta, mas principalmente de reflectir sobre a plausibilidade dos argumentos num determinado cenário. Supondo que essa possibilidade não existe, então os argumentos internos terão de ser explicados de outra forma. Historiadores como Di Bono e Blåsjö, pela falta aparente de uma ligação entre Copérnico e os astrónomos árabes, propuseram que quaisquer semelhanças entre os modelos e mecanismos pode ser explicada partindo da suposição de que conclusões idênticas surgiriam, naturalmente, a dois astrónomos que abordassem o mesmo problema matemático partindo das mesmas premissas. Na “Critique of the arguments for Marāgha influence on Copernicus”¹⁸⁰, Blåsjö defendeu que

“Copernicus and his Islamic predecessors had the same starting point, the same goal, and the same techniques at their disposal, so extensive similarities in their results are to be expected even if they worked independently. Nor is it surprising that they had the same goal, namely to reformulate Ptolemy’s theory of the planetary system in terms of uniform circular motion.”

181

¹⁷⁹ Swerdlow e Neugebauer, 1984, p. 47.

¹⁸⁰ Blåsjö, 2014, pp. 183–195.

¹⁸¹ Blåsjö, 2014 p. 183.

Começando pelo par-de-Ṭūsī, apesar dos mecanismos descritos no *De revolutionibus* e no *al-Tadhkira* serem bastante semelhantes, o facto de se distinguirem ligeiramente, e a sequência das letras apresentada por Copérnico seguir também a ordem do alfabeto latino, levou a que historiadores como André Goddu questionassem a possibilidade de transmissão. Sendo que a primeira descrição do mecanismo, no contexto da astronomia ocidental, aparece no *Questiones de spera*, de Oresme, pode ter sido essa a influenciar a versão que, mais tarde, foi apresentada no *De revolutionibus*. “Because we know of no version of this treatise [i.e. *al-Tadhkira*] that Copernicus may have seen, we can at best conclude that it influenced an author whose work Copernicus did see or hear about”¹⁸². A descrição do astrónomo francês, no entanto, é relativamente confusa e, não incluindo nenhuma imagem, tem provocado interpretações diferentes acerca da forma que o mecanismo teria¹⁸³. Podendo tratar-se de uma “trifling geometrical observation”¹⁸⁴, usada no contexto de uma astronomia menos técnica, não é claro ou consensual que Oresme, como Copérnico, tenha tido acesso a fontes árabes. A questão que, pelo contrário, se tem vindo a clarificar nos últimos anos é a de transmissão textual para a Europa. Victor Roberts, em 1966, referiu que Neugebauer tinha encontrado, na biblioteca do Vaticano, um manuscrito grego bizantino, de Gregory Chioniades, que mencionava o par-de-Ṭūsī; Saliba, em 1999, comentou uma cópia do *al-Tadhkira*, encontrada na mesma biblioteca, que pertencia a Guillaume Postel; e Nosonovsky, em 2018, analisou um tratado hebraico, encontrado no British Museum, do astrólogo, físico e teólogo espanhol Abner de Burgos (c. 1270–1340), onde o par-de-Ṭūsī também foi descrito:

“Transmission of Eastern astronomic knowledge via Spain seems likely, especially when keeping in mind that students from Muslim Spain studied in the Maragha school and that Arabic astronomic works (...) were well known to Jewish scholars in Christian Spain, such as Abner.”¹⁸⁵

Em relação às teorias planetárias, mencionou-se em cima que o modelo da Lua, por ser o mais próximo ao de Ibn al-Shāṭir, seria aquele onde a hipótese de transmissão era mais evidente. Tanto o astrónomo damasceno como o polaco, construíram uma solução onde, em vez de variar a distância do centro do epiciclo ao centro do universo, variava a dimensão do epiciclo aparente. Blåsjö que, pelo contrário, propondo que esta se trata de uma “obvious solution to an obvious problem”¹⁸⁶, concluiu que “there can be little doubt that this very simple idea would have suggested itself to any serious astronomer tackling the problem, so this trivial agreement proves nothing about influence”¹⁸⁷. A questão em relação a este argumento é que, aceitando a existência um problema “óbvio” no modelo ptolemaico da Lua – o que não é certo, tendo em conta a

¹⁸² Goddu, 2010 p. 155

¹⁸³ Ver: Kren, 1971; Goddu, 2010, pp. 476-486; J. Ragep, 2017 em: Ragep e Feldhay, 2017.

¹⁸⁴ Blåsjö, 2018, p. 489.

¹⁸⁵ Nosonovsky, 2018, p. 30.

¹⁸⁶ Blåsjö, 2014 p. 188.

¹⁸⁷ Blåsjö, 2014 p. 189.

separação entre a astronomia e a filosofia natural na tradição clássica – a solução, formulada cerca de doze séculos depois, não pode ter sido “óbvia”. Não sendo novidade que a teoria ptolemaica incluía um erro perceptível através das observações, a proposta de Ibn al-Shāṭir e Copérnico foi apresentada pela primeira vez, no império islâmico, no século XIV e, na Europa, no século XVI. Além do mais, antes de Ibn al-Shāṭir, também al-Urdī, al-Ṭūsī e al-Shīrāzī tentaram resolver os problemas relacionados com o modelo, sem conseguirem chegar ao mesmo resultado que o astrónomo damasceno. O que se pretende defender aqui é que, sendo possível que Copérnico tenha chegado, independentemente, à mesma conclusão que Ibn al-Shāṭir, não se deve, contudo, partir do princípio que essa seria a “solução óbvia” para o “problema óbvio” na teoria ptolemaica. Supondo que o modelo coperniciano dos planetas superiores foi também construído independentemente do de al-‘Urdī, foi proposto um último argumento, relacionado com o modelo de Mercúrio, para defender a transmissão das fontes árabes para a Europa.

No “Derivation and First Draft of Copernicus Planetary Theory”¹⁸⁸, Swerdlow chegou mesmo a argumentar que uma das maiores evidências de que astrónomo polaco terá tido acesso a fontes árabes medievais está na descrição, no *Commentariolus*, do modelo de Mercúrio. Para compreender o argumento do historiador é necessário relembrar-se que, neste modelo, o par-de-Ṭūsī tem o efeito de garantir que, para um observador na Terra, apesar da elongação máxima do centro do epiciclo principal ser durante as quadraturas, a 90° do apogeu, o epiciclo aparente tenha o tamanho máximo a $\mp 120^\circ$ deste último. Assim, a partir do novo mecanismo, foi possível descrever uma órbita com dois perigeus, um em Gémeos e outro em Aquário. O problema encontrado no *Commentariolus* é que, além de se omitir o objectivo principal do par-de-Ṭūsī, a descrição do efeito de expansão e contracção do epiciclo aparente, na linha dos auges e nas quadraturas, não é clara. Segundo Swerdlow, Copérnico parece crer que o tamanho máximo do epiciclo aparente ocorre, não a $\mp 120^\circ$ do apogeu, mas durante as quadraturas. Se o astrónomo soubesse que não era assim, provavelmente teria mencionado o fenómeno – como mencionou, mais tarde, no *De revolutionibus*.

“This misunderstanding must mean that Copernicus did not know the relation of the model to Mercury’s apparent motion. Thus it could hardly be its own invention for, if it were, he would certainly have described its fundamental purpose than write the absurd statement that Mercury “appears” to move in a larger orbit when the earth is 90° from the apsidal line. The only alternative, therefore, is that he copied it without fully understanding what it was really about. Since it is Ibn al-Shāṭir’s model, this is further evidence, and perhaps the best evidence, that Copernicus was in fact copying without full understanding from

¹⁸⁸ Swerdlow, 1973, pp.423-512.

some other source, and this source would be an as yet unknown transmission to the west of Ibn al-Shāṭir's planetary theory.¹⁸⁹

Segundo Blåsjö, pelo contrário, a omissão do fenómeno faz sentido na medida em que o objectivo do *Commentariolus* seria descrever os modelos não didacticamente, mas da forma mais simples possível. Tendo em conta que o raio do modelo de Mercúrio é definido pela expressão $R - e \cos 2a$, “mathematically, the most natural way to specify this formula is to describe the cases $t = 0^\circ, \mp 90^\circ$, where it takes its extreme values, and this is precisely what Copernicus does”¹⁹⁰. Uma vez que se pretendia introduzir modelos que reproduzissem os mesmos efeitos que os ptolemaicos e que as posições de Mercúrio a $\mp 120^\circ$ do apogeu já tinham sido mencionadas no *Almagesto*, Blåsjö sugere que

“There is no need for Copernicus to mention this since his intended readership would of course be very familiar with Ptolemaic theory and realize at once that this corollary carries over directly insofar as the two theories are equivalent.”¹⁹¹

As propostas de Blåsjö e, antes, de Di Bono reforçam sobretudo a ideia de que, apesar de necessária, a análise e comparação dos textos astronómicos não é suficiente para associar Copérnico aos astrónomos árabes. A “escola de Neugebauer” tem sido criticada sobretudo por se preocupar em identificar “the scientific contents while ignoring most of its context”¹⁹². O problema encontrado por J. Ragep nos argumentos de historiadores como Blåsjö, é o facto de que, procurando refutar a possibilidade de transmissão, acabam por dispensar também a contextualização do problema. Se, por um lado, a falta de provas de que os textos terão chegado até Copérnico é entendida como um impedimento aos argumentos internos, por outro, propõe-se uma certa independência às ciências matemáticas, entre as quais a astronomia, dos cenários em que se encontram. Desta forma justifica-se não só que dois astrónomos, em situações bastante distintas, possam partir do mesmo problema e chegar às mesmas conclusões, mas também que as próprias críticas impostas às teorias ptolemaicas seriam uma “natural continuation of classical astronomy”¹⁹³. A influência do contexto sociocultural é quase ou completamente nula e as descobertas de Copérnico, como as de Ibn al-Shāṭir, são explicadas a partir do domínio excepcional que os dois astrónomos teriam da disciplina.

Historiadores como J. Ragep têm proposto um certo distanciamento em relação aos modelos astronómicos, para procurar entender as próprias tradições científicas, nas quais o problema historiográfico se insere. “The emphasis on the models alone obscures several crucial

¹⁸⁹ Swerdlow, 1973, p. 504.

¹⁹⁰ Blåsjö, 2014, p. 193.

¹⁹¹ Blåsjö, 2014, p. 193.

¹⁹² Brentjes, 2003, p.67.

¹⁹³ Blåsjö, 2014, p. 184.

historiographical, conceptual and physical issues that need to be considered when dealing with Copernican transformations”¹⁹⁴. Em relação à astronomia árabe, é necessário considerarem-se os objectivos da tradição *hay’a*: o estudo da forma, ou configuração, do universo, que terá começado, pelo menos, com Ibn al-Haytham. Depois do astrónomo do século XI, seguiram-se três séculos de propostas e contrapropostas para reformular as teorias ptolemaicas até se chegar aos modelos de Ibn al-Shāṭir. Na Europa, o cenário era diferente. Precederam a Copérnico, Peurbach (1423-1461), Regiomontano (1436-1476) e os astrónomos de Pádua, Giambattista Amico (1512-1538) e Girolamo Fracastoro (1478-1553), que também se preocupavam em estudar hipóteses físicas para entender fenómenos celestes. Baseados em Aristóteles, Averróis e al-Bīṭrījī, البطروجي (séc.XII), os astrónomos ocidentais estavam interessados em modelos homocêntricos que dispensassem excêntricos e epiciclos. No entanto, não só não foi formulada uma solução satisfatória, como a crítica ao ponto equante, manifestada por Copérnico, não era evidente nestes autores. Entre eles, destaca-se Regiomontano, provavelmente o astrónomo europeu mais importante do século XV, que propôs uma reforma ao programa de astronomia partindo, quer da correcção das tabelas numéricas, quer pelo apelo às observações astronómicas.

“ (...) Regiomontanus promotes the vision of a complete astronomy ‘that not only accommodates computation to the appearances, but also truly imparts a complete knowledge of the figures of celestial bodies’. For Regiomontanus, this integration of computations with physical considerations went hand in hand with the explicit rejection of astronomy as a ‘fictitious art [or discipline]’”.¹⁹⁵

Considerando as teorias de alguns astrónomos europeus, que se enquadravam no contexto de uma astronomia preocupada não só com questões matemáticas, mas também físicas, é possível entender-se o interesse de Copérnico por modelos realistas, que descrevessem os movimentos celestes. Contudo, e provavelmente porque essa astronomia ainda se encontrava numa fase inicial, não se encontram nela as principais objecções copernicianas às teorias ptolemaicas. Este foi outro argumento formulado por autores, como J. Ragep ou Saliba, para defender a hipótese de transmissão de fontes árabes para a Europa. Conhecendo uma tradição astronómica, desenvolvida durante séculos, onde terão sido formuladas as mesmas críticas e construído modelos bastante semelhantes, estes historiadores têm procurado analisar a hipótese de que Copérnico tenha sido, de alguma forma, influenciado pelas teorias astronómicas árabes.

Finalmente, desde o princípio da investigação do grupo de Edward Kennedy aos modelos de Ibn al-Shāṭir que têm sido formuladas várias hipóteses sobre as formas com que os textos associados à tradição *hay’a* terão chegado à Europa. Embora Neugebauer e, mais recentemente, Nosonovsky tenham encontrado manuscritos que poderão esclarecer a possível transmissão do

¹⁹⁴ Ragep J, 2007, p. 134.

¹⁹⁵ Shank, 2017, p. 96.

par-de-Tūsī, nenhum deles inclui “any material of ‘Urdu or Ibn al-Shāṭir”¹⁹⁶. O manuscrito do *al-Tadhkira* encontrado no Vaticano, pelo contrário, além do mecanismo aborda ainda questões relacionadas com os próprios modelos. Saliba tem sugerido que embora seja pouco provável que Copérnico soubesse árabe, existia, na Europa do século XVI, quem soubesse. Guillaume Postel, a quem o manuscrito pertencia, foi já apresentado no primeiro capítulo como um humanista francês que lecionava “línguas orientais” e matemática em Paris. Como ele existiam vários outros arabistas.

“The problem is to determine whether Copernicus himself ever came to know such men. For if he did, then it would be quite possible to assume that someone could have briefed him about the contents of such a manuscript, that is bring him up to date with the latest Arabic astronomy”¹⁹⁷.

Robert Morrison propôs, mais recentemente, que a transmissão das teorias astronómicas pode ter estado associada a comunidades judaicas que, durante o Renascimento, circulavam principalmente entre a Península Ibérica, Itália, Grécia e o Império Otomano. Pelo facto de terem sido, muitas vezes, perseguidas ou expulsas dos próprios países, como no caso de Espanha em 1492, eram obrigadas a deslocarem-se entre territórios interculturais. “For instance, members of an Ibn Naḥmias family went from Castille to Albania, and then to Salonika, before moving to Venice by the 1600s”¹⁹⁸. Como foi apontado também por Nosonovsky, entre estas comunidades encontravam-se matemáticos, astrónomos e filósofos que não só teriam de dominar outras línguas além do hebraico, como teriam contacto com as diferentes tradições de astronomia. Juntando estes dois factores – as deslocções interculturais com o domínio de várias línguas –, encontra-se um conjunto de pessoas que pode ter contribuído para a circulação de conhecimento durante o renascimento. Entre elas, Morrison destacou Moses ben Judah Galeano (m. dp de 1542), um escolástico na corte de Bayazid II (1481-1512) que escreveu o livro *Ta ‘amulot hokmah (Puzzles of Wisdom)* em 1530, onde além dos modelos astronómicos de Ibn al-Shāṭir, menciona uma viagem a Veneza por volta de 1500, quando “he met with the prominent printer Gershom Soncino.”¹⁹⁹.

“Galeano composed a Hebrew text entitled *Ta ‘amulot hokmah (Puzzles of Wisdom)* around 1500, although he finalized it in the 1530’s. *Puzzles of Wisdom* mentioned, among other things the astronomy of ‘Ala al-Din Ibn al-Shāṭir (d.1375), whose models, it has been noted, parallel Copernicus’s in many places. (...) *Puzzles of Wisdom* described

¹⁹⁶ Saliba, 2007, p. 214.

¹⁹⁷ Saliba, 2007, p. 218.

¹⁹⁸ Morrison, 2017, p. 200.

¹⁹⁹ Morrison, 2017, p. 208.

Galeano's visit to Venice around 1500, during which he met with the prominent printer Gershom Soncino."²⁰⁰

Apesar de nenhuma das hipóteses mencionadas provar que tenha ocorrido, de facto, uma transmissão de textos astronómicos árabes para a Europa, todas elas se apoiam em movimentos interculturais entre os séculos XV e XVI. Arun Bala, em 2016, colocou a possibilidade de as teorias astronómicas terem sido aprendidas e ensinadas durante as próprias viagens dos escolásticos, astrónomos, filósofos ou matemáticos. A falta de evidência textual não pode, nesse sentido, excluir a hipótese de transmissão ou justificar a de uma descoberta independente.

Indeed the hypothesis of oral transmission (...) explains the absence of documentary evidence for transmission, how Maragha knowledge could be acquired without acquaintance with the Arabic language, why European astronomers came to such knowledge only after corridors of communication were opened through Jewish scholars and others, why Copernicus's use of the Tusi couple and Urdu lemma were not seen as seminal mathematical achievements, and why Copernicus developed the Ibn al-Shatir model (...).²⁰¹

Concluindo: a polémica em torno da possível transmissão das teorias associadas à tradição *hay'a*, que terá começado no princípio da segunda metade do século XX, mantém-se ainda hoje. Apesar de terem sido formuladas várias hipóteses, não se encontrou, e talvez não se venha a encontrar, nenhuma prova de que essa transmissão tenha acontecido realmente. Recorrendo também à análise de algumas fontes, o que se procurou com este segundo capítulo foi sobretudo entender alguns dos argumentos formulados dentro do contexto da polémica – tanto contra, como a favor à ideia de que Copérnico terá sido influenciado pelo trabalho dos astrónomos árabes. Não se tratou tanto de identificar alguns historiadores em cada um dos lados, mas sobretudo de tentar compreender a plausibilidade, primeiro, de incluir os novos modelos astronómicos numa tradição de astronomia que, até Kennedy, era praticamente desconhecida e, depois, de considerar que ela pode ter influenciado a astronomia europeia, mais especificamente a astronomia copernicana, durante o renascimento.

²⁰⁰ Morrison, 2017, p. 208.

²⁰¹ Bala, 2016, p. 79.

Conclusão

O principal objectivo desta dissertação foi compreender a polémica historiográfica provocada pela descoberta de uma tradição de astronomia árabe chamada *hay'a*. Sendo que o principal ponto de controvérsia diz respeito à influência que a nova disciplina pode ter tido na astronomia copernicana – que, por sua vez, é descrita regularmente como um factor associado ao início da ciência moderna na Europa –, a polémica tem sido abordada por historiadores especializados em várias áreas da ciência árabe e ocidental. A análise que se procurou construir baseou-se não só em várias interpretações, mas também na consulta de algumas das fontes mencionadas. Pretendia-se, sobretudo, formar uma visão relativamente crítica acerca da polémica.

No sentido de justificar a procura de contributos científico-filosóficos árabes na ciência ocidental renascentista – mesmo quando estes não são reconhecidos –, foi necessária uma primeira parte que, por um lado, explicasse um conjunto de conceitos centrais à questão e, por outro, evidenciasse a existência de um problema historiográfico associado. Entendeu-se o início da ciência moderna como um conceito aplicado ao período, entre os séculos XV e XVIII, em que se terão começado a desenvolver as filosofias, práticas e instituições que fundamentam a ciência actualmente. Embora as mudanças em causa constituam um fenómeno bastante mais complexo que o proposto por Kuhn, aceitou-se, com base em argumentos científicos, filosóficos, sociais e económicos, que o início da ciência moderna pode ser situado na Europa. Cohen, numa perspectiva mais científica, justificou-o com “three revolutionary transformations”²⁰²: o realismo em matemática, ou seja, a ideia de que teoremas e construções matemáticas podem explicar fenómenos naturais – que, terá começado com Copérnico, mas que terá sido principalmente desenvolvido por Galileu e Kepler; a visão corpuscular-cinémática da natureza, ou seja, de que o mundo é constituído por corpúsculos microscópicos em movimento – a qual foi atribuída sobretudo a Descartes; e, finalmente, o empirismo, isto é, a produção de conhecimento através da experiência, que – muito resumidamente – terá entrado na prática científica com Roger Bacon. Huff, numa perspectiva mais sociológica, acrescentou a importância de determinados valores culturais, assim como da existência de instituições relativamente independentes de autoridades políticas ou religiosas, que promovessem estudos científico-filosóficos: “the mere presence of mathematical and logical techniques will not enable scientific breakthroughs”²⁰³. Considerando as perspectivas de Cohen e Huff, reconhece-se, entre o final do século XIV e a segunda metade do século XVIII, uma transformação associada ao início da ciência moderna na Europa. Partindo desta ideia, procurou-se justificar a possibilidade de o conceito não se referir a um fenómeno

²⁰² Cohen, 2010, p. 157.

²⁰³ Huff, 2017, p.9.

exclusivamente europeu, na medida em que terá dependido de contribuições formuladas fora do contexto da tradição científica ocidental. Mencionaram-se, primeiro, estudos como o de Needham ou Saliba, que procuravam defender a influência das tradições chinesas e árabes, e depois Bala, Smith ou Secord, que abordaram a ideia de circulação de conhecimento durante o período “early modern”.

Definindo a origem da ciência moderna como um conjunto de transformações que, apesar de colocados na Europa, não terão sido exclusivamente ocidentais, apresentou-se um problema historiográfico relacionado com a transmissão de ciência árabe. Com *Success and Suppression* (2016), Hasse procurou mostrar, por um lado, a presença desta tradição científico-filosófica na Europa durante o Renascimento, e, por outro, a existência de um movimento humanista responsável pela supressão de textos científicos árabes por motivos não científicos, mas ideológicos. Embora vários desses textos tenham, mais tarde, reentrado nos programas das próprias disciplinas, muitos poderão ter sido perdidos. A este problema colocou-se ainda uma questão acerca do impacto que o humanismo teria tido na chegada de textos científico-filosóficos mais recentes. Não se trata apenas do movimento de propaganda anti-árabe, que, suprimindo textos cuja relevância já se conhecia, poderia ter condicionado a divulgação de outros que ainda não se conhecessem, mas também da relação que os humanistas propunham entre o conhecimento e o domínio filológico e linguístico dos textos. Saliba sugeriu que a procura por entender teorias científicas na língua original pode ter provocado a falta de traduções mais recentes. De qualquer forma, concluiu-se que, apesar do estudo proposto por Hasse evidenciar a existência de um problema historiográfico, não foi possível determinar as dimensões que terá tido.

Tendo justificado a possibilidade de procurar contributos de ciência árabe na europeia e evidenciando a existência de um problema historiográfico associado a essa proposta, o segundo capítulo procurou entender a polémica em torno da tradição *hay'a*. Trata-se de uma discussão em história das ciências que terá começado na segunda metade do século XX, depois da descoberta dos modelos de Ibn al-Shāṭir, e que se mantém até hoje. Não existindo nenhuma prova de que as teorias astronómicas em causa terão influenciado a astronomia copernicana, formularam-se várias interpretações para explicar a semelhança entre os modelos, mecanismos e motivações encontrados nos astrónomos árabes e em Copérnico. O capítulo pode ser dividido em três partes. Com a primeira procurou-se entender e contextualizar a descoberta dos modelos e da nova tradição, no cenário em que a história da ciência árabe se encontrava. Sem grande atenção a detalhes técnicos, privilegiou-se uma linha cronológica que contrastasse as principais narrativas formuladas no princípio do século XX com aquelas formuladas recentemente em relação à tradição *hay'a*. Na segunda parte, propôs-se uma comparação, mais técnica, dos modelos astronómicos, de forma a entender as suas semelhanças e divergências, não só ao nível dos próprios mecanismos, mas também ao dos motivos que terão levado à sua produção. Concluída a

comparação, foi possível propor-se uma última parte onde se consideraram alguns dos argumentos formulados para promover ou rejeitar a possibilidade de transmissão das teorias para a Europa. Procurou-se analisar interpretações de alguns historiadores relacionadas tanto com aspectos internos às próprias teorias, como com o contexto cultural, social e económico. Partindo também da análise de algumas das fontes textuais associadas, o segundo capítulo evidenciou que a semelhança encontrada ao nível dos modelos astronómicos terá resultado da semelhança encontrada também ao nível das motivações. Tanto Copérnico como os astrónomos árabes, na maioria dos casos, não levantaram objecções aos níveis de precisão encontrados no *Almagesto*, mas criticaram as teorias ptolemaicas pelo facto de incluírem mecanismos incoerentes com os princípios de filosofia natural – nomeadamente o círculo excêntrico e o ponto equante. Na tradição *hay'a* essas críticas e propostas encontram-se já no século XI, em Ibn al-Haytham. Na tradição ocidental, astrónomos como Regiomontano e Peurbach, que já propunham uma astronomia preocupada em entender os fenómenos reais, idealizavam teorias baseadas em órbitas homocêntricas – isto é, sem excêntricos ou epiciclos. Contudo, não só não foram produzidos modelos que se propusessem a substituir os ptolemaicos, como não se encontraram críticas ao ponto equante – novidades que terão sido introduzidas na astronomia europeia com Copérnico. Finalmente, com a análise das principais hipóteses de transmissão formuladas pelos historiadores, evidenciou-se a falta de uma prova de que as teorias árabes tenham, de facto, chegado à Europa.

Em síntese, o que se propôs com esta dissertação foi a análise de uma polémica historiográfica baseada nas interpretações formuladas por vários historiadores e na análise de algumas das fontes mencionadas. Não se pretendeu nem deslocar a origem da ciência moderna para a cultura árabe, nem reflectir sobre os motivos pelos quais esta “failed to produce modern science”²⁰⁴. O objectivo principal foi compreender o problema e as interpretações que têm sido formuladas em torno dele. Comparando as propostas de vários historiadores especializados em ciências matemáticas, árabes e ocidentais foi possível contrastarem-se diferentes abordagens e reconhecer-se uma certa falta de diálogo. Além de um grupo preocupado fundamentalmente com a comparação matemática das teorias astronómicas, encontram-se ainda dois grupos de historiadores: uns que, alertando para a possibilidade de transmissão de ideias e teorias, têm considerado algumas formas com que Copérnico pode ter sido influenciado pela tradição *hay'a*; e outros que, propondo uma descoberta independente, têm destacado Naṣīr al-Dīn al-Tūṣī e Ibn al-Shāṭir como astrónomos excepcionais na história da astronomia árabe. Encontrou-se uma falta de diálogo, na medida em que o terceiro grupo parece abordar a tradição *hay'a* apenas parcialmente.

²⁰⁴ Huff, 2017, p. 6.

“One would have expected that these historical discoveries, some of which are now half of a century old, would have caused a substantial reevaluation of the origins of the ‘Scientific Revolution’, or at least an attempt to deal with the role of Islamic science in that revolution.”²⁰⁵

O que parece acontecer, pelo contrário, e que tem sido sugerido por Ragep, Brentjes e Bala, é que a “larger history of science community seems so far to have resisted dealing with the implications of the Islamic connection to Copernicus”²⁰⁶. Segundo Brentjes, a falta de diálogo pode estar relacionada quer com uma falta de comunicação por parte dos historiadores de ciência árabe, quer com uma tendência historiográfica de procurar explicações sobre o início da ciência moderna dentro do contexto europeu. De acordo com Bala, apesar de se reconhecerem contributos não ocidentais na transformação da ciência medieval, “these are not seen a crucial”²⁰⁷. Ragep apontou ainda o facto de narrativas mais recentes representarem Copérnico não tanto como um revolucionário, mas mais como um conservador da filosofia aristotélica. Nesse sentido, a falta de uma consideração aprofundada sobre o papel da tradição *hay’a* nas transformações associadas ao início da ciência moderna estaria relacionada com o facto de que “the truly important innovation, heliocentrism, (...), according to this view is all that really mattered for Kepler, Galileo *et al.*”

Na procura de entender de que forma a nova tradição de astronomia árabe tem sido incluída em algumas grandes narrativas, sugere-se, agora, uma pequena análise das propostas de Huff e Cohen. Huff, para quem a “connection with Copernicus remains tenuous at best”²⁰⁸, destaca sobretudo a importância do heliocentrismo no desenvolvimento da ciência europeia. Reconhece-se uma semelhança entre os modelos e mecanismos astronómicos, mas pelo facto de se rejeitar a hipótese de transmissão *a priori*, não se propõe nenhuma reflexão sobre o problema. Cohen, pelo contrário, considera a possibilidade de Copérnico ter tido acesso ao par-de-Tūsi e aplicado o mecanismo nos próprios modelos. “But the central feat at issue here – the mathematization of nature – is not touched thereby”²⁰⁹. Existe uma simplificação dos factos históricos, na medida em que al-‘Urḍī é descrito como tendo aprofundado as críticas de al-Battānī a Ptolemeu; Naṣīr al-Dīn al-Tūsi, como inventado “a more sophisticated device”²¹⁰; e Ibn al-Shāṭir como aplicado o par-de-Tūsi nos próprios modelos, para evitar a violação do princípio de movimentos circulares uniformes.

“If, then, no plausible resources of realism can be seen to have come from individual discoveries in Islamic civilization, let alone in the European Middle Ages, we must ask

²⁰⁵ Ragep J, 2007, pp. 68-69.

²⁰⁶ Ragep J, 2007, p. 69.

²⁰⁷ Bala, 2006, p.24; Ver Huff 2014, p.13: “It is now evident that very little of the Arab-Islamic scientific tradition had a significant impact on the great innovators who crafted the core of the scientific revolution of the seventeenth century”

²⁰⁸ Huff, 2014, p. 3.

²⁰⁹ Cohen, 2010, p. 207.

²¹⁰ Cohen, 2010, p. 68.

whether more plausible resources rested in the two rival modes of pursuit of nature-knowledge current in Europe by the late 16th century.”²¹¹

Cohen não mencionada a semelhança entre os modelos de ‘Urđī e Ibn al-Shāṭir; a proximidade das críticas copernicianas e árabes ao *Almagesto*; ou a tentativa, por parte de Ibn al-Shāṭir, de legitimar o uso de mecanismos matemáticos através de uma revisão aos princípios aristotélicos. Huff e Cohen propuseram as duas narrativas em 2014 e 2010, respectivamente, mesmo depois de historiadores como Kennedy, Roberts, Saliba, Ragep, Morrison, Swedlow, Neugebauer ou Hartner argumentarem sobre a probabilidade de Copérnico ter sido influenciado não só pelos resultados, mas pelas motivações dos astrónomos árabes. O que se pretende evidenciar não é uma prova de que a transmissão das teorias científicas terá ocorrido realmente, mas o facto de essa hipótese não ser sequer colocada ou discutida em algumas narrativas sobre a astronomia copernicana.

Conclui-se que, com a procura por entender a polémica historiográfica em torno da tradição *hay’a* se contrastaram três abordagens: uma essencialmente matemática, preocupada sobretudo em detectar as semelhanças e divergências nas teorias astronómicas; outra que, tendo em conta as semelhanças técnicas, propõe uma comparação sobre as tradições científicas em questão; e ainda outra que, apoiada na falta de uma prova de transmissão, tem, de certa forma, evitado uma ponderação sobre a polémica. Rejeitando a chegada das teorias astronómicas à Europa *à priori* e argumentando que a astronomia copernicana terá sido independente da árabe, é possível dispensar-se uma reflexão. “No astronomical revolution is to be found in the work of Ibn al-Shāṭir, the Marāgha school or any other Muslim astronomer because they were not able to make the leap to a heliocentric system embedded in an infinite universe”²¹². Aceitando, pelo contrário, a possibilidade de uma transmissão textual, seria necessário considerar-se se as próprias motivações que levaram Copérnico a construir os modelos astronómicos teriam resultado também da influência de uma tradição árabe medieval. Seria necessário questionar-se se o realismo matemático, uma das “revolutionary transformations” que terá levado ao início da ciência moderna, já se encontrava, em parte, nesta tradição de astronomia árabe.

²¹¹ Cohen, 2010, p. 207

²¹² Huff, 2017, p. 5.

Bibliografia

Fontes

Al-Shīrāzī, Qutb al-Dīn. 684/1285. *Al-Tuḥfat al-shāhiyya fī al-hay'ah*. Berlin: Staatsbibliothek. MS. OR. OCT. 3363

Aristotle (1984). On the heavens. In: *The complete works of Aristotle*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, pp.447-511.

Bagheri, M. (2006). Kūshyār ibn Labbān's glossary of astronomy. *SCIAMVS*, 7, pp.145-174.

Berggren, J. and Van Brummelen, G. (2001). Abū Sahl al-Kūhī on Rising Times. *SCIAMVS*, (2), pp.31–46.

Bisaha, N. (2017). European cross-cultural contexts before Copernicus. In: J. Ragep and R. Feldhay, ed., *Before Copernicus*. Montreal & Kingston • London • Chicago: McGill-Queen's University Press, pp.29-41.

Carmody, F. (1960). *The astronomical works of Thabit Ibn Qurra*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

Copérnico, N. (2014). *As revoluções dos orbes celestes*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Hogendijk, J. (2000). Al-Nayrīzī's mysterious determination of the azimuth of the qibla at Baghdad. *SCIAMVS*, (1), pp.49–70.

Hogendijk, J. (2001). The geometrical works of Abū Sa'īd al-Ḍarīr al-Jurjānī. *SCIAMVS*, (2), pp.47–74.

Ibn al-Haytham (1971). *al-Shukūk 'alā Baṭlamyūs*, ed. A. Sabra; N. Shehabi. Cairo: Dār al-Kutub.

Ibn Kathīr al-Farghānī, A. and Lorch, R. (2005). *Al-Farghani on the astrolabe*. Wiesbaden: Steiner-Verlag.

Mu'ayyad al-Dīn al-'Urḍī. Kitāb al-hay'ah, fol. 158r. [Manuscript]. At: Oxford: Bodleian Library, Oxford Univ. Marsh 621. In: Saliba, G. (1994). *A history of Arabic astronomy*. New York: New York University Press pp. 128-124..

Nallino, C. (1903). *Al-Battānī sive Albateni opus astronomicum. Ad fidem codicis escurialensis arabice editum*. Milão: Mediolani Insubrum: Prostat Apud Ulrichum Hoeplium.

Penchèvre, Erwan. (2017). La "Nihaya al-sul fi tashih al-usul" d'Ibn al-Shatir: 'Edition, traduction et commentaire.

Piemontese, A. M., 2014 La raccolta vaticana di orientalia: Asia, Africa ed Europa [manuscrito]. Coleção vat.ar.319. Vaticano: Vatican Apolitic Library.

Estudos

Abbud, F. (1962). The planetary theory of Ibn al-Shāṭir: Reduction of the geometric models to numerical tables. *Isis*, 53(4), 492-499.

Ackermann, S. (2018). Gerard Turner memorial lecture: Science in the service of religion? 'Islamic science in the museum'. *Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 139, p.5.

Almeida, G. and Ferreira, M. (2004). *Introdução à astronomia e às observações astronómicas*. Lisboa: Plátano Editora.

Alves, A. (1999). *Portugal - Ecos de um passado árabe*. Lisboa: Instituto Camões.

Bala, A. (2006). The eurocentric history of science. In: A. Bala, ed., *The dialogue of civilizations in the birth of modern science*. New York: Palgrave Macmillan, pp.21-32.

Bala, A. (2016). The scientific revolution and the transmission problem. *Confluence: Journal of World Philosophies*, 4, pp.62-80.

Barker, P. and Heidarzadeh, T. (2016). Copernicus, the Tusi couple and East-West exchange in the fifteenth century. In: M. Granada, P. Boner and D. Tessicini, ed., *Unifying Heaven and Earth. Essays in the History of Early Modern Cosmology*. Barcelona: Universitat de Barcelona Edicions, pp.19-58.

Blåsjö, V. (2014). A critique of the arguments for Maragha influence on Copernicus, *Journal for the History of Astronomy*, 45(2), pp. 183–195.

Blåsjö, V. (2018). A rebuttal of recent arguments for Maragha influence on Copernicus. *Studia Historiae Scientiarum*, 17, pp.479-497.

Brentjes, S. (2003). Between doubts and certainties: on the place of history of science in Islamic societies within the field of history of science. *NTM International Journal of History and Ethics of Natural Sciences, Technology and Medicine*, 11(2), pp.65-79.

Burnett, C. (2001). The coherence of the Arabic-Latin translation program in Toledo in the twelfth century. *Science in Context* (14), pp. 249-288.

- Carmody, F. (1956). *Arabic Astronomical and Astrological Sciences in Latin Translation, A Critical Bibliography*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Carra de Vaux, M. (1893). Les sphères célestes selon Nasîr-Eddîn Attûsi. In: P. Tannery, ed., *Recherches sur l'histoire d'astronomie ancienne*. Paris: Gauthier-Villars & fils, p.337-361.
- Coelho, A. (1999). *Topicos para a história da civilização e das ideias no Gharb Al-Andalus*. Lisboa: Instituto Camoes.
- Cohen, H. (2012). *How modern science came into the world*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Di Bono, M. (1995). Copernicus, Amico, Fracastoro, and Ṭūsī's Device: Observations on the use and transmission of a model. *Journal for the History of Astronomy*, pp.113-154.
- Dannenfeldt, K. (1955). The Renaissance humanists and the knowledge of Arabic. *Studies in the Renaissance*, 2, pp.96-117.
- Dreyer, J. (1953). *A history to astronomy from Thales to Kepler*. New York: Dover.
- Duhem, P. (1965). *Le système du monde: tome 2 : Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Paris: Hermann.
- Duhem, P. (1969). *To Save de Phenomena: An essay on the physical theory from Plato to Galileo*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Gamini, A. (2017). Quṭb al-Dīn al-Shīrāzī and the development of non-Ptolemaic planetary modeling in The 13th Century. *Arabic Sciences and Philosophy*, 27(02), pp.165-203.
- Goddu., A. (2010). *Copernicus and the Aristotelian tradition. Education, reading, and philosophy in Copernicus's path to heliocentrism*. Leiden: Koninklijke Brill NV
- Goldstein, B. and Swerdlow, N. (1971). Planetary distances and sizes in an anonymous Arabic treatise preserved in Bodleian Ms. Marsh 621. *Centaurus*, 15(2), pp.135-170.
- Goldstein, B., & Hon, G. (2018). The nesting hypothesis for planetary distances and its persistence over the centuries and across cultures. In Burnett C. (Author) & Manning P. & Owen A. (Eds.), *Knowledge in translation: Global Patterns of Scientific Exchange, 1000-1800 CE* (pp. 209-226). Pittsburgh, Pa.: University of Pittsburgh Press
- Gouguenheim, S. (2008). *Aristote au Mont-Saint-Michel*. Paris: Seuil.
- De Young, G. (1984). The Arabic textual traditions of Euclid's elements. *Historia Mathematica*, (11), pp.147-160.

- Guessoum, N. (2008). Copernicus and Ibn al-Shatir: Does the Copernican Revolution have Islamic Roots. *The Observatory*, (128), pp.231-239.
- Hasse, D. (2016). *Success and Suppression*. 1st ed. London: Harvard University Press.
- Hodgson, M. G. S. (1977). *The venture of Islam, Volume 1: The Classical Age of Islam*. Chicago: The University of Chicago Press
- Hodgson, M. G. S. (1977). *The venture of Islam, Volume 2: The Expansion of Islam in the Middle Periods*. Chicago: The University of Chicago Press
- Huff, T. E. (2014). The scientific revolution and the Arab-Muslim background. *History of Sciences in Islam*, (2), pp.11-20.
- Huff, T. (2017). *The sociology of Early Modern science an interview with Prof. Toby Huff*. Hekmah.
- Kennedy, E., & Roberts, V. (1959). The planetary theory of Ibn al-Shāṭir. *Isis*, 50(3), 227-235.
- Kennedy, E. (1966). Late medieval planetary theory. *Isis*, 57(3), 365-378
- Kennedy, E. (1967). Planetary theory in the medieval near East and its transmission to Europe. *Journal of the American Oriental Society*, (87), pp.595-604.
- King, D. (1983). The astronomy of the Mamluks. *Isis*, 74(4), pp.531-555.
- Kunitzsch, P.(2005). Translations from Arabic (Astronomy/Astrology): the formation of terminology. *Archivum latinitatis medii aevi*, (63), pp.161-168.
- Kuhn, T. (1957). *The Copernican revolution*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lopes de Barros, M. (2014). From the history of Muslims to Muslims in history: Some critical notes on Arab-Islamic Studies in Portugal. *Hamsa. Journal of Judaic and Islamic Studies*, (1), pp.29- 40.
- Lorch, R. (2001). Greek-Arabic-Latin: The transmission of mathematical texts in the Middle Ages. *Science in Context* (14), pp.313-331.
- Makdisi, G. (1970). Madrasa and university in the Middle Ages. *Studia Islamica*, (32), p.255.
- Makdisi, G. (1989). Scholasticism and humanism in classical Islam and the Christian West. *Journal of the American Oriental Society*, 109(2), p.175.

- McGinnis, J. (2003). Scientific Methodologies in Medieval Islam. *Journal of the History of Philosophy*, 41(3), pp.307-327.
- Morrison, R. (2013). Islamic astronomy. In D. Lindberg & M. Shank (Authors), *The Cambridge History of Science* (The Cambridge History of Science, pp. 109-138). Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, R. (2019). Jews as scientific intermediaries in the European Renaissance. In: J. Ragep, ed., *Before Copernicus*. Montreal & Kingston • London • Chicago: McGill-Queen's University Press, pp.198-214.
- Niazi, K. (2011). *A comparative study of Qutb al-Dīn Shīrāzī's Texts and Models on the Configuration of the Heavens*. Doctor. Columbia University.
- Nosonovsky, M. (2018). Abner of Burgos: The missing link between Nasir al-Din al-Tusi and Nicolaus Copernicus?. *Zutot*, 15(1), pp.25-30.
- Nunes Pereira, R. (2006). Os estudos árabes em Portugal no século XIX. *Xarajīb*, (5), pp.119-130.
- Ofek, H. (2011). Why the Arabic world turned away from science. *The New Atlantis*, pp.3-23.
- Pedersen, O. (2011). *A survey of the Almagest*. New York: Springer.
- Ragep, F. and al-Qūshjī, A. (2001). Freeing astronomy from philosophy: An aspect of Islamic influence on science. *Osiris*, 16, pp.49-71.
- Ragep, F. (2001). Ṭūsī and Copernicus: The Earth's motion in context. *Science in Context*, (14), pp.145-163.
- Ragep, F. (2007). Copernicus and his Islamic predecessors: Some historical remarks. *History of Science*, (45, Part 1), pp.65-81.
- Ragep, F. (2008). When did Islamic science die (and who cares?). *Viewpoint*, (85), pp.1-3.
- Ragep, F. (1993). *Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī's Memoir on Astronomy (al-Tadhkira fī cilm al-hay'a)*. New York, NY: Springer.
- Ragep, J. (2017). From Tūn to Toruń: The twists and turns of the Ṭūsī-Couple. In: J. Ragep, ed., *Before Copernicus*. Montreal & Kingston • London • Chicago: McGill-Queen's University Press, pp.161-197.
- Ragep, F. and Feldhay, R. (2017). *Before Copernicus*. London; Chicago: McGill-Queen's University Press.

- Ragep, S. (2017). Fifteenth-Century Astronomy in the Islamic World. In: J. Ragep and R. Feldhay, ed., *Before Copernicus*. Montreal & Kingston • London • Chicago: McGill-Queen's University Press, pp.143-160.
- Rashed, R (1997). *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris: Seuil.
- Renan, E. (1883). *L'islam et la science*. Bruxelles: UltraLetters.
- Rico, F. (2002). *El sueño del humanismo*. Barcelona: Destino.
- Roberts, V. (1957). The solar and Lunar theory of Ibn ash-Shāṭir: A Pre-Copernican Copernican Model. *Isis*, 48(4), 428-432.
- Roberts, V. (1966). The planetary theory of Ibn al-Shatir: Latitudes of the Planets. *Isis*, 57(2), 208-219.
- Sabra, A. (1987). The appropriation and subsequent naturalization of Greek science in medieval Islam: A preliminary statement. *History of Science*, (25), pp.223 - 243.
- Sabra, A. (1996). Situating Arabic science: Locality versus essence. *Isis*, 87(4), pp.654-670.
- Saliba, G. (1987) 'The rôle of Maragha in the development of Islamic astronomy : A scientific revolution before the renaissance', *Revue de synthèse*, 108(3-4), pp. 361-373.
- Saliba, G. (1994). *A history of Arabic astronomy*. New York: New York University Press.
- Saliba, G. (1999). *Whose science is Arabic science in renaissance Europe*. [online] Columbia.edu. Available at: <http://www.columbia.edu/~gas1/project/visions/case1/sci.1.html>.
- Saliba, G. (2002). Flying goats and other obsessions: A Response to Toby Huff's 'Reply. *Bulletin of the Royal Institute for Inter-Faith Studies*, 2, pp.129-141.
- Saliba, G. (2007). *Islamic science and the making of the European Renaissance*. Cambridge: MIT Press.
- Saliba, G. (2008). Embedding scientific ideas as a mode of science transmission. In: E. Calvo, M. Comes, R. Puig and M. Rius, ed., *A Shared Legacy: Islamic Science East and West*. Barcelona: Universitat de Barcelona, pp.193-213.
- Schmidl, P. (2007). 'Urḍī: Mu'ayyad (al-Milla wa-) al-Dīn (Mu'ayyad ibn Barīk [Burayk]) al-Urḍī (al-Āmirī al-Dimashqī). [online] Islamsci.mcgill.ca. Available at: https://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Urdi_BEA.htm.

- Shank, M. (2017). Regiomontanus and astronomical controversy in the background of Copernicus. In: J. Ragep and R. Feldhay, ed., *Before Copernicus*. Montreal & Kingston • London • Chicago: McGill-Queen's University Press, pp.79-109.
- Smith, P. (2009). Science on the move: Recent trends in the history of Early Modern science. *Renaissance Quarterly*, 62, pp.345-375.
- Samsó, J. (2007). *Astronomy and astrology in al-Andalus and the Maghrib*. Aldershot [England]: Ashgate/Variorum.
- Sverdlow, N. (1973). The derivation and first draft. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 117(6), pp.423-512.
- Sverdlow, N. and Neugebauer, O. (1984). *Mathematical astronomy in Copernicus's 'De revolutionibus'*. New York, NY [u.a.]: Springer.
- Van Helden, A (1985). *Measuring the universe*. Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Varisco, D. (1991). The Origin of the anwā' in Arab tradition. *Studia Islamica*, (74), 5-28.
- Vernet, J. (1999). *Lo que Europa debe al Islam de España*. Barcelona: El Acantilado.
- Walker, C. (1999). *Astronomy before the telescope*. London: British Museum Press.
- Weinberg, S. (2016). *To explain the world*. New York, N.Y: Harper Perennial.

Glossário

ا = I, A

Ijtimā (اجتماع) = Conjunção (n.) – O momento em que dois astros, vistos da Terra, aparecem na mesma direcção.

Istiqbāl (استقبال) = Oposição (n.) – O momento em que dois astros, vistos da Terra, aparecem em direcções opostas.

Aūj (أوج) = Apogeu (n.)

Ilā tuālī al-burūj (الى توالي البروج) = No sentido dos signos do zodíaco – Ou seja, sentido directo

Ilā rilāf tuālī al-burūj (الى خلاف توالي البروج) = No sentido contrario ao dos signos do zodíaco – Ou seja, sentido retrógrado

ب = B

Basar (بصر) = O termo significa literalmente “visão”. No contexto dos modelos astronómicos, refere-se ao ponto onde o observador se encontra. Saliba, traduziu-o como “eye”²¹³. Aqui, preferiu-se o termo “observer” aplicado por Kennedy e Roberts.²¹⁴

ت = T

Tadwīr (تدوير) = Epiciclo (n.)

Tadwīr mar’īī (تدوير مرئي) = Epiciclo aparente [a um observador na Terra].

Tadhkirah (تذكرة) = Lembrete²¹⁵

ج = J

Jawzahar (جوزهر) = Nodo (n.) – Um dos dois pontos em que a órbita da Lua intersecta a eclíptica.

Jawzahar mujāz chamālīa (جوزهر المجاز الشمالي) = Nodo ascendente – O nodo que é atravessado pela Lua quando esta se move para Norte.

²¹³ Saliba, 1994, p. 124.

²¹⁴ Kennedy e Roberts, 1959, p. 368.

²¹⁵ Saliba, 1994, p. 123: “reminder”

Jawzahar mujāz al-janūbīa (جوزهر مجاز جنوبي) = Nodo descendente – O nodo que é atravessado pela Lua com um movimento para Sul.

ح = H

Ḥāfiṭh (الحافظ) = Protector – Nome do orbe onde Mercúrio se encontra. Penchèvre traduz o termo como “protecteur” ou “garde”; Kennedy como “protector”.

Ḥāmil (حامل) = Deferente – refere-se ao círculo e ao orbe (excêntricos ou não) em torno do centro do universo; Transportador – refere-se a um círculo ou orbe que carrega consigo o centro de outro círculo ou orbe. Neste caso, Penchèvre traduziu-o como “orbe portant”²¹⁶, Saliba e Roberts²¹⁷ como “carrier”

Ḥaraka basīṭa (حركة بسيطة) = Movimento Simples

Ḥaraka basīṭa murakkaba (حركة بسيطة مركبة) = Movimento Simples-Composto

Ḥaraka murakkaba (حركة مركبة) = Movimento Composto

Ḥaḍīd (حضيض) = Perigeu (n.)

خ = Kh

Khaṭ mustaqīm (خط مستقيم) = Linha recta (n.)

د = D

Dawra (دورة) = Ciclo; Período (n.)

ذ = Dh

Dhanab (ذنب) = Cauda (n.) – Nodo descendente da Lua, isto é, o nodo que é atravessado pela Lua quando esta se move para Sul.

Dhirwa (ذروة) = Apogeu (n.)

Dhirwa Mar’īa (ذروة مرئية) = Apogeu Aparente

²¹⁶ Penchèvre, 2017, p.105

²¹⁷ Roberts, 1966, p. 210.

Dhirwa wūṣṭa الذروة الوسطى = Apogeu Médio

ر = R

Ra's (رأس) = Cabeça (n.) – Nodo ascendente da Lua, isto é, o nodo que é atravessado pela Lua quando esta se move para Norte.

Rujue (رجوع) – Retrocesso; Retrogradação – fenómeno associado ao movimento aparente dos planetas: quando o planeta deixa de se mover em sentido directo, fica momentaneamente estacionário e se move temporariamente em sentido indirecto.

ش = Ch

Chāmil شامل = Literalmente, [que] inclui tudo (adj.); Fronteira [do orbe físico] (n.)

ط = T

Tūl (طول) = Longitude (n.)

ع = 'a

'Arḍ (عرض) = Latitude (n.)

'Aṭārd عطارد = Mercúrio (n.)

ف = F

Falak (فلك) = Orbe (n.)

Falak al-burūj (فلك البروج) = Eclíptica (n.)

Falak al-nnār (فلك النار) = Orbe do Fogo (n.)

ق = Q

Qutb (قطب) = Pólo (n.)

Qamar قمر = Lua (n.)

Qaws قوس = Arco (n.)

ك = K

Kaūkab (كوكب) = Planeta (n.)

ن = N

Nāṭhir (ناظر) = Observador (n.)

م = M

Mā'il (مائل) = Inclinado (adj.)

Mutawāzī (متوازي) = Paralelo (adj.)

Muḥaddab (محدّب) = Convexo (adj.)

Muḥīṭ (محيط) = Circunferência (n.); Englobante (n.) – Orbe de Mercúrio cujo centro é carregado pelo epiciclo.²¹⁸

Madār (مدار) = Órbita; Trajectória (n.)

Mudīr (مدیر) = Director (n.) – Orbe ou círculo que carrega o centro do epiciclo. Penchèvre e Roberts traduziram-no como “rotateur”²¹⁹. Aqui preferiu-se o termo “director” aplicado por Saliba²²⁰.

Mustawīa (مستوية) = Uniforme (adj.)

Muaddal al-masīr (معدل المسير) = Equante (n.) – Centro do Movimento Uniforme.

Mutachābih (متشابه) – Constante (adj.)

Muqaar (مقعر) = Côncavo (adj.)

Muqadima (مقدمة) = Lema (n.)

Mumathil (ممثل) = Pareclíptica (n.) – O primeiro orbe de cada astro.²²¹

Mamāssa (مماسّة) = Tangência (n.)

²¹⁸ Ver Penchèvre, 2017, p. 197.

²¹⁹ Penchèvre, 2017, p. 197.

²²⁰ Roberts, 1966, p. 210

²²¹ Ver: Penchèvre, 2017, p. 197; Ragep, 1993, p. 144

Mantiqa (منطقة) = Cinto (n.) Literalmente refere-se ao cinto de um orbe físico. Penchèvre traduziu-o como “ceinture” e Ragep como “equator”²²²

ن = N

Nīrīn (نيرين) = Luminaires – O Sol e a Lua

ه = H

Haī’a (هيئة) = Configuração; Astronomia (n.)

²²² Penchèvre, 2017, p. 197; Ragep, 1993, p. 200.

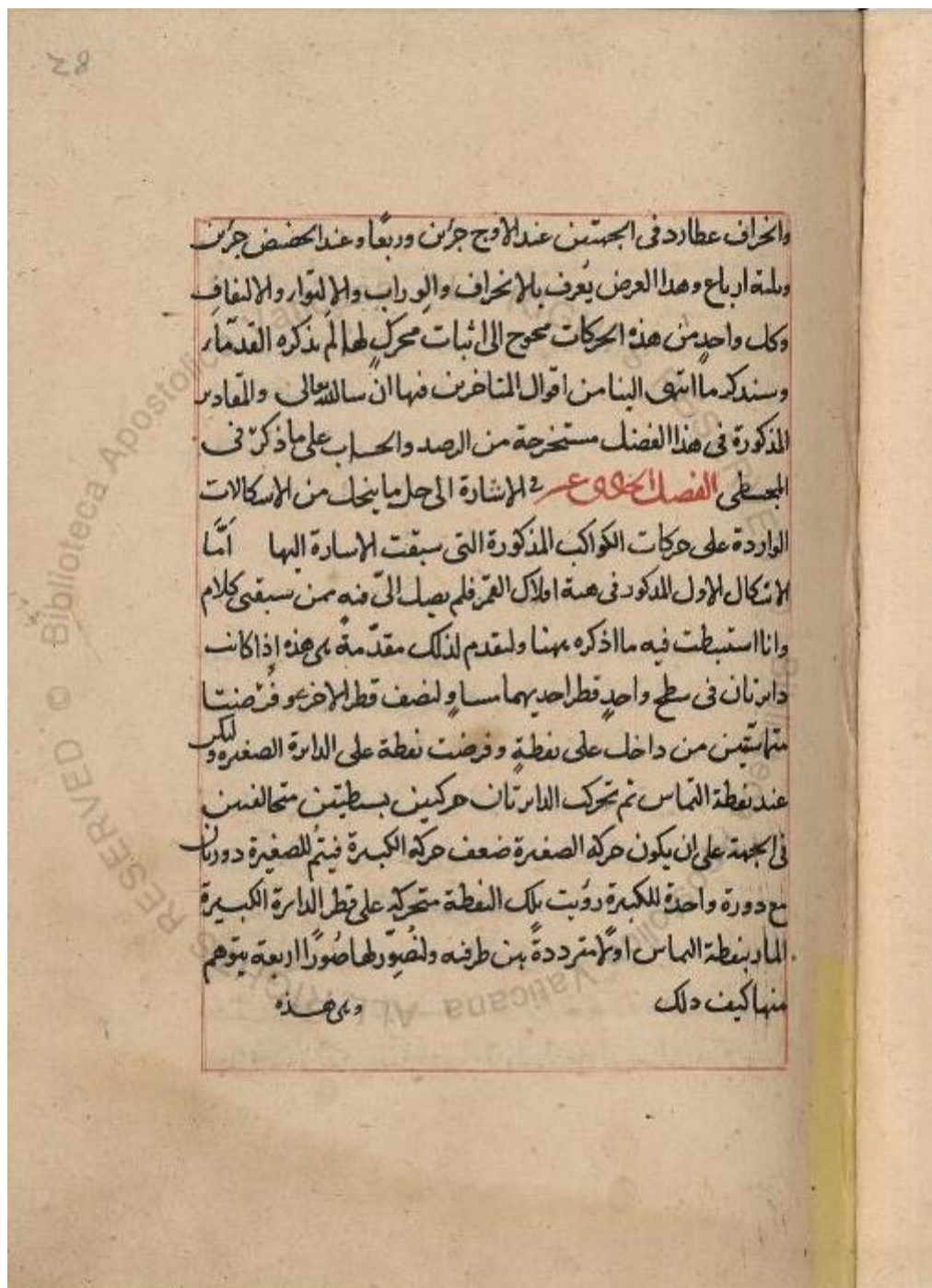
Sobre as Traduções

Em anexo, seguem-se as traduções de quatro textos em árabe: a descrição do par-de-Tūṣi no *al-Tadhkira*, a apresentação do modelo planetário de al-'Urḍī, um excerto do capítulo nono de *Nihāyat al-Sūl* e o capítulo 21 do mesmo tratado. À excepção do *al-Tadhkira*, todos os textos foram traduzidos a partir das transcrições de outros autores: o modelo planetário de al-'Urḍī foi transcrito por Saliba²²³ e os textos de Ibn al-Shāṭir, no *Nihāyat al-Sūl*, por Penchèvre²²⁴. No caso do par-de-Tūṣi, a transcrição partiu directamente do manuscrito Vat.ar.319, da biblioteca do Vaticano, mas, quando necessário, apoiou-se também na transcrição de J. Ragep²²⁵. As traduções tiveram como principal objectivo preservar o sentido das explicações técnicas. Considerando que os textos tratam de questões de astronomia teórica, privilegiou-se uma tradução que fosse o mais literal possível. Acrescentaram-se palavras entre parêntesis rectos apenas quando se considerou que estas facilitariam a compreensão do leitor. Também com o objectivo de garantir a qualidade das traduções, consultaram-se outras já publicadas: a de Saliba para o texto de al-'Urḍī, a de Penchèvre para os de Ibn al-Shāṭir e a de Ragep para a descrição do par-de-Tūṣi. Em casos de dúvida sobre o significado de algumas frases, recorreu-se ainda à ajuda de Jomana Alneaj.

²²³ Saliba, 1994, pp. 128-134.

²²⁴ Penchèvre, 2017.

²²⁵ Ragep, 1993.



صورة الدائرتين في البدار والمتحرك الصغيرة الى جهة الناظر والكبيرة الى جهة يساره	صورتهما بعدان نقطت الصغيرة نصفاً والكبيرة ربعاً	صورتهما بعدان نقطت الصغيرة دورة والكبيرة نصفها	صورتهما بعدان قطعت الصغيرة دورة ونصفاً والكبيرة ملء اربع دورة
---	--	---	---



ولبيان ان النقطة لا تزول عن الخط اصلاً وان لم تكن تقصداً لبراد البراهين
المهندسة في هذا المختصر فليكن الكبيرة دائرة ا ب ح وقطرها ا ب ومركزها
د والصغيرة دائرة ح د ه وقطرها ح د ومركزها د والنقطة المفروضة
ه وليطوى ا ب لخط ح د على خط ا ب ونقطة ح على ا ولكن ه هنا
معها لم يتحرك دائرة ح د ه في جهة ح د ولينتقل مركزها نقطة ه الى
ان يقطع قوس ح د مثلاً وليتحرك معها دائرة ا ب ح في جهة ا ب نصف
لكل حركة ولينتقل طرف قطر ح د الى ان يقطع قوس ا ب في جهة ا ب
بنصف قوس ح د ونصل ه د ه ذ فزاوية ح د ه ضعف زاوية ح د ا
لاجل الحركتين وبما اننا ضاعفنا الكونها خارجة من مثل ه د ا ومساوية

لما طلق ردة ركة المسا ومن لساوي ساقى رة رة فادن راوسا
 حركه حركه مساوتان وخط رة مطبق على خط رة نقطة اذن
 على قطر رة غير زائلة عنه وكذلك في سائر الاوضاع فادن نقطة رة
 مترددة دايما بين طرفي خط رة غير زائلة عنه وان اردنا جعلنا الدائرة
 منطقتي فلكن مجسمين وبنغي ان يكون المراد من الدائرة الصغيرة مدار
 مركز الدوير فيها ومن الدائرة الكبيرة دائرة نصف
 قطرها بقدر قطر الدائرة الصغيرة ثم ان جعلنا يد
 النقطة حركه مفروضة وارادنا ان يكون قطر الكرة
 المفروضة دايما متطعا على قطر الكرة الكبيرة غير
 قابل عن وضعها فرضنا كرة اخرى محطه بالمفروضه
 متحركة
 سلك حركه الكبيرة بعينها وفي جهتها البرد الطر الى وضعه بقدر ما زائلة
 فصل حركه الصغيرة على الكبيرة وبسط فيها ان يكون قطر الدائرة الصغيرة
 نصف قطر الدائرة الكبيرة ما لم يكن لها اذ وحسب ترى الكرة المفروضة متحركة
 على خط مستقيم مطبق على قطرها مترددة بين طرفيه غير زائلة عن ذلك
 الانطباق . واذا انقررت هذه المقدمة فلنقيم تدوير القمر مكان العدة
 المفروضة مركزه نقطة رة ومحيطه بالبعد الذي يكون تدوير القمر ولنفرض
 كرة اخرى محطه به حافظة لوضعه باي قدر من الشئ يتفق وبنغي ان

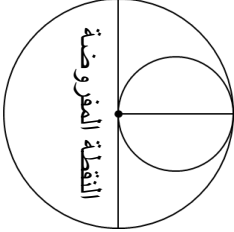
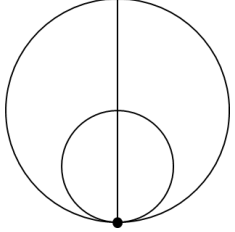
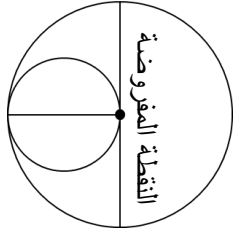
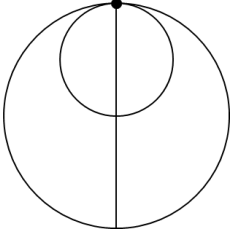


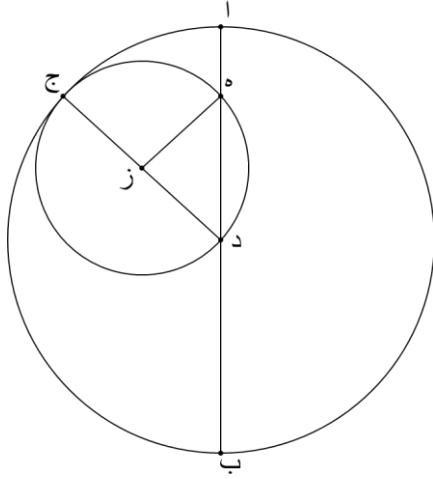
Transcrição e Tradução

[Fol.28r] الفصل الحادي عشر

في الإشارة الى حلّ ما ينحال من الاشكالات الواردة على حركات الكواكب المذكورة التي سبقت الإشارة إليها. أما الإشكال الاول المذكور في هيئة افلاك القمر فلم يصل اليّ فيه ممن سبقني كلام، و أنا استتبعت فيه ما أذكره ههنا. ولنقدم لذلك مقدمة على هذه: إذا اكانت دائرتان في سطح واحد قطر إحداهما مساوٍ لنصف قطر الأخرى وفرضتا متماسيتين من داخل على نقطة وفرضت نقطة على الدائرة الصغيرة ولتكن عند نقطة التماس. ثم تحركت الدائرتان حركتين بسيطتين متخالفتين في الجهة على ان تكون حركة الصغيرة ضعف حركة الكبيرة فتتم الصغيرة دورتان مع دورة واحدة للكبيرة. رثيت تلك النقطة متحركة على قطر الدائرة الكبيرة المارّ بنقطة التماس أولاً مترددة بين طرفه. ولنصوّر لها صوراً اربعة يتوهم منها كيف ذلك. وهي هذه:

[Fol. 28v]

<p>صورتهما بعد ان قطعت الصغيرة دورة و نصفاً و الكبيرة ثلث اربع دورة</p> 	<p>صورتهما بعد ان تمتت الصغيرة دورة و الكبيرة نصفها</p>  <p>النقطة المفروضة</p>	<p>صورتهما بعد ان قطعت الصغيرة نصفاً والكبيرة ربعاً</p> 	<p>صورة الدائرتين في المبداء ولتتحرك الصغيرة الى جهة يمين الناظر والكبيرة الى جهة يسارة</p>  <p>النقطة المفروضة</p>
---	--	--	--



ولبيان ان النقطة لا تزول عن الخط اصلاً و إن لم نكن نقصد إيراد
البراهين الهندسية في هذا المختصر. فليكن الكبيرة دائرة ا ب ج و
قطرها ا ب و مركزها د و الصغيرة دائرة ج د ه و قطرها ج د و
مركزها ز و النقطة المفروضة ه و لينطبق أولاً قطر ج د على خط ا
د و نقطة ج على ا و لتكن ه هناك معهما. ثم لتتحرك دائرة ج د ه في
جهة ج ه ولتنتقل بحركتها نقطة ه الى ان تقطع قوس ج ه مثلاً و
لتتحرك معهما دائرة ا ج ب في جهة ا ج نصف تلك الحركة و لينتقل
طرف قطر د ج الى ان يقطع قوس ا ج فهي شبيهة بنصف قوس ج ه
ونصل ه ز و د ه فزاوية ج ز ه ضعف زاوية ج د ا لأجل الحركتين.

وهي ايضاً ضعفها لكونها خارجة من مثلث ه ز د و مساوية لداخلتي ز ه د و د ه ز المتساويتين لتساوي ساقَي ز ه
ز د. فإذا زاويتا ج د ه و د ا ج متساويتان و خط د ه منطبق على خط د ا فنقطة ه إذن على قطر ب ا غير زائلة عنه
وكذلك في سائر الأوضاع. فإذا نقطة مترددة دائماً بين طرفي خط ا ب غير زائلة عنه. وإن اردنا جعلنا الدائرتين
منطقتي فلكين مجسمين وينبغي ان يكون المراد من الدائرة الصغيرة مدار مركز التدوير فيها و من دائرة الكبيرة
دائرة نصف قطرها بقدر قطر الدائرة الصغيرة. ثم إن جعلنا بدل النقطة كرة مفروضة و اردنا ان يكون قطر الكرة
المفروضة دائماً منطبقاً على قطر الكرة الكبيرة غير زائل عن وضعها. فرضنا كرة اخرى محيطة بالمفروضة
متحركة مثل حركة الكبيرة بعينها و في جهتها لترد القطر إلى وضعه بقدر ما يزيله فضل حركة الصغيرة على
الكبيرة. ويشترط فيها أن يكون قطر الدائرة الصغيرة نصف قطر الدائرة الكبيرة ماراً بمركزها ابداً. و حينئذ ترى
الكرة المفروضة متحركة على خط مستقيم منطبق على قطرها مترددة بين طرفين غير زائلة عن ذلك الانطباق.

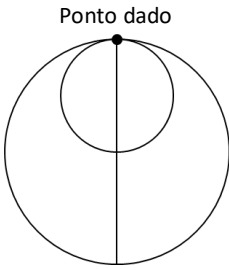
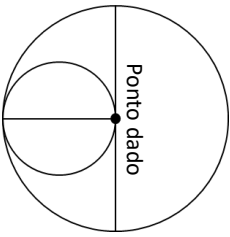
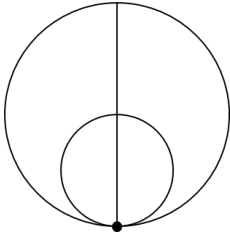
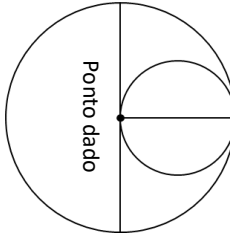
Tradução

[Fol. 28 r.] Capítulo 11

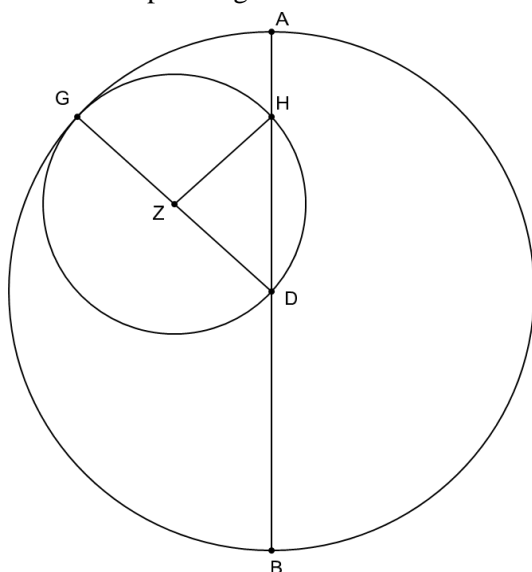
Sobre a indicação de uma solução – do que é resolúvel – dos problemas que surgem sobre os movimentos dos planetas mencionados anteriormente.

Em relação ao primeiro problema, referido na configuração da órbita da Lua, nenhuma afirmação me chegou dos meus antecessores e eu desenvolvi sobre ele o que menciono aqui. Introduzamos para esse [problema] um lema: Se dois círculos no mesmo plano, o diâmetro do primeiro igual à metade do outro, forem considerados tangentes internamente num ponto e se considerar um ponto sobre o pequeno círculo – esteja [este] no ponto de tangência – e se ambos os círculos se moverem com movimentos simples em direcções opostas, de forma a que o movimento do círculo pequeno seja o dobro [do movimento] do círculo grande, então o pequeno completa dois ciclos para cada ciclo do grande. Esse ponto é visto mover-se sobre o diâmetro do círculo grande, que passa inicialmente pelo ponto tangente, alternando entre os extremos dele. Ilustremos isto com quatro figuras [para] conceber através delas como isso [ocorre]. E elas são estas:

[Fol.28 v]

<p>Figura dos dois círculos no início. Mova-se o [círculo] pequeno para a direita do observador e o grande para a esquerda.</p> 	<p>Figura de ambos depois de o pequeno descrever metade e o grande um quarto [de rotação].</p> 	<p>Figura de ambos depois de o pequeno completar uma rotação e o grande metade de uma.</p> 	<p>Figura de ambos depois de o pequeno completar uma rotação e meia e o grande três quartos de rotação.</p> 
---	--	---	---

Para provar que o ponto está sempre na linha original²²⁶, mesmo que não intencionemos fornecer as provas geométricas neste resumo, seja o círculo ABG o grande, o seu diâmetro AB e



o seu centro D ; o círculo GHD o pequeno, o seu diâmetro GD e o seu centro Z ; e o ponto dado H . Primeiro, aplique-se o diâmetro GD sobre a linha AD , o ponto G sobre A e esteja o ponto H aí com eles. Então, mova-se o círculo GHD na direcção GH e desloque-se, com o movimento deste [círculo], o ponto H até terminar, por exemplo, o arco GH . Mova-se, com eles, o círculo AGB na direcção AG [com] metade daquele movimento e mova-se a extremidade do diâmetro DG até descrever o arco AG – que, então, é semelhante ao

dobro do arco GH . Conectamos H a Z e H a D . Então, o ângulo GZE é o dobro do ângulo GDA por causa dos dois movimentos, é também o dobro dele porque é exterior ao triângulo HZD e igual aos [ângulos] [Fol. 28 r.] interiores de ZHD e ZDH porque as arestas ZE e ZD são iguais. Então, os ângulos GDH e GDA são equivalentes e a linha DH coincide com a linha DA . O ponto H está sobre o diâmetro BA e não sai de cima deste – e, como aí, em todas as situações. Então, o ponto H oscila sempre entre as extremidades da linha AB e não se desvia deles.

Se quisermos tornar os dois círculos cintos de duas órbitas tridimensionais. É necessário que o objectivo do círculo pequeno seja o circuito do centro do epiciclo e que o do círculo grande seja um círculo cujo semidiâmetro mede o mesmo que o diâmetro do círculo pequeno. Então, trocamos o ponto por uma dada esfera e queremos que o diâmetro dela coincida sempre com o diâmetro da esfera grande, sem se desviar da posição dele. Supomos outra esfera em torno da dada [esfera], que se move com um movimento igual ao da grande e na mesma direcção que a [esfera] grande para que o diâmetro volte à sua posição inicial pela velocidade com a magnitude retirada da diferença entre o movimento da pequena e o da grande [esfera]. É estipulado por isto que o diâmetro do círculo pequeno seja metade do diâmetro do círculo grande, passando sempre pelo seu centro. Então, vê-se a dada esfera mover-se sobre uma linha recta coincidente com o diâmetro dela, oscilando entre as duas extremidades, sem se desviar dessa coincidência.

²²⁶ (النقطة لا تزول عن الخط أصلاً) – Literalmente “o ponto não desaparece da linha original”

O modelo Planetario de Mu'ayyad al-Dīn al-Urdī

ونعود الى كلامنا في افلاك الكواكب فنقول:

إنَّ السبب الذي من اجله صار مركز التدوير يرى انه محمول على فلك خارج المركز ويرى مسيره المستوي عند مركز فلك آخر غير الذي هو محمول عليه ان نقلة مركز التدوير التي يظن بطلميوس انها بسيطة ليست كذلك. وانها هي حركة مركبة من حركتين بسيطتين مستويتين على مركزين غير المركزين الموصوين اعني مركز الحامل و مركز معدّل المسير اللذين ذكرهما.

لكن فلك التدوير اذا تحرك بالحركتين اللتين سنوضحهما فانه سيحصل من تركيبهما حركة مستوية تخال انها بسيطة عند مركز معدّل المسير. ونقدم لذلك تذكرة نافعة فنقول:

إنَّ كل خط مستقيم نقيم عليه خطين مستقيمين متساويتين في جهة واحدة فصيران زاويتين من الزاويا التي تحدث مع الخط اما الداخلة مع الخارجة و اما الداخلتان اللتي في هجة واحدة متساويتين ثم يوصل بين طرفيهما بخط مستقيم فانه يكون موازيا للخط الذي قاما عليه.

فلنقم على خط ا ب خطي ا ج، ب د ويحيطان معه بالزاويتين الموصوفتين المتساويتين. و يوصل خط ج د.

فاقول إنَّ ج د مواز لخط ا ب. برهانه أنا نخرج خط ا ب على استقامة الى نقطة ه فإن كانت زاوية د ب ه الخارجة مساوية لزاوية ج ا ب الداخلة على ما في الصورتين الاولتين فمن البين أن ا ج، ب د متساويين يكونان متوازيين. فخطا ا ب، ج د كذلك

و اما إنَّ كانت الزاويتان المتساويتان هما الداخلتين اللتين في هجة واحدة اعني زاوية ج ا ب مساوية لزاوية د ب ا كما في الصورتين الباقيتين فنخرج من نقطة د خطاً موازياً لخط ا ج وليلقى خط ا ب على نقطة ز.

فمن اجل ان ا ج مواز لـ د ز تكون زاوية ج ا ب مثل زاوية د ز ه. فلذلك تكون د ز ب مثل زاوية د ب ز. فخط د ز مساو لخط د ب اعني ا ج ومواز له. فخطا ا ب، ج د متوازيان. وذلك ما اردنا بيانه.

ومن ذلك ايضا ان كل دائرتين متساويتين يتقاطعان في بسيط مستوي يوصل نين مركزيهما بخط مستقيم وينفذ في الهجتين الى محيطها ثم نعلم على نقطة على منتصف الخط الذي بين مركزيهما و نجعل هذه النقطة مركزاً ويدار عليه دائرة يكون نصف قطرها مساويا لنصف قطر احدى دائرتين الاولتين، فان محيط هذه الدائرة يقطع كل واحدة من القطعتين اللتين تقعان من الخط المستقيم المار بالمراكز فيما بين محيطي الدائرتين بنقطتين نصفين.

و تقطع هذه الدائرة كل واحدة من الدائرتين الاولتين على نقطتين غير نقطتي تقاطع الدائرتين الاولتين.

فاذا جعلنا موضع قطع هذه الدائرة الاحد قسمي الخط الذي فيما بين الدائرتين مركزاً وادرنا عليه دائرة صغيرة تماسّ الدائرتين الاولتين، فإن قطر هذه الدائرة يكون مساويا لبعدها ما بين مركزي الدائرتين الاولتين.

فمتى تحرك مركز هذه الدائرة الصغيرة على محيط الدائرة الثالثة و هي الوسطى من الدوائر الثلاثة المتساوية الى ان يصير وضعها على هذا الخط من الجهة الاخرى مقاطراً لهذا الوضع فإن الدائرة الصغيرة تصير ايضاً مماسةً للدائرتين اللتين كانت مماسةً لهما في الوضع الاول من داخل ومن خارج فتماس التي كانت تماسها من داخل من خارج و بالعكس في الاخرى.

واذا توهم مركز فلك تدوير الكوكب محمولاً على محيط هذه الدائرة الصغيرة وفرضت متحركة على مركزها اما في القوس العليا منها فالى التوالي اعني الجهة التي يتحرك مركزها اليها، و اما في القوس السفلى بالعكس و فرضت الحركتان متساويتين و فرضت الدائرتين الاولتين ثابتتين وفرض البصر على الخط المار بالمراكز وبعده من مركز احدى الدائرتين الاولتين مثل بعد ما بين مركزيهما. فاذا توهم مركز تدوير الكوكب على النقطة التي تماس الدائرة الصغيرة احدى الدائرتين الاولتين من خارج اعني التي مركزها اقرب من النقطة التي توضع عليها ثم تحركت الدائرة الصغيرة فحركت بحركتها النقطة المماسية اعني مركز التدوير الى خلاف الهجة التي يتحرك مركزها اليها. ويتحرك مركزها بحركة الحامل له. حصل لمركز التدوير بتحريكها اعني بانتقال جملة الدائرة الصغيرة وبحركتها ايضاً على مركز نفسها حركة مركبة من هاتين الحركتين يظن انها بسيطة مستوية عند مركز الدائرة التي هي اكثر خروجاً عن موضع البصر وهي المسماة بمعدل المسير.

واما مركز التدوير اعني نقطة المماسية المذكورة فقد يخال انه محمول على الدائرة التي مركزها اقرب من النقطة التي عليها البصر من أجل أن مركز التدوير يكون على هذه الدائرة في بعده المختلفة اعني اعظم ابعاده من البصر واقربها منه.

وكونها قريباً من محيطها في باقي ذروته جداً فلذلك ظن بطليموس أن مركز التدوير لازماً لمحيطها وانه يرسمها بحركته.

ولنضرب لذلك مثلاً ليظهر ظهوراً بينا. فليكون دائرتان متساويتان في بسيط واحد متقاطعتان. لاولى منهما وهي يجعلها بطليموس دائرة معدل المسير عليها ا ب ج مركزها نقطة د. والثانية منهما وهي التي يجعلها الفلك الحامل لمركز التدوير دائرة ه ز ح ومركزها نقطة ط. ليقاطعا على نقطتي و ي. ونصل خط د ط المار بالمركزين وننفذه في الجهتين الى محيطها. وليقطع دائرة ا ب ج على نقطتي ا ج ودائرة ه ز ح على ه ح. ونقسم خط د ط بنصفين على نقطة ك ونجعلها مركزاً وندير عليها دائرة وبعيد د ا اعني نصف قطر الدائرة الاولى عليها ل ن م. فتقطع كل واحد من خطي ا ه، ج ح بنصفين على نقطة ل م.

فنجعل نقطة ل مركزاً وندير ببعد ال دائرة صغيرة عليها ا س م. فتماس دائرة ا ب ج من داخل على نقطة ا وتماس دائرة ه ز ح من خارج على نقطة ه. ولتكن نقطة س في النصف اليمين من دائرة صغيرة.

فمن البين أن نصف قطر هذه الدائرة اعني ه ل يكون مساوياً لخط د ك اعني نصف الخط الذي بين مركزي دائرتي ا ب ج، ه ز ح الاولتين.

فاذا توهمنا أن دائرتي ا ب ج، ه ز ح الاولتين ثابتتين وان الكرة المحيطة بتدوير الكوكب يماس سطحها سطح التدوير يكون مركزها نقطة ل وتسمى هذه الكرة الفلك المدير للتدوير.

و لتكون هذه الكرة مغرقة في ثخن كرة محدبها سطحان متوازيان مركزهما نقطة ك، فتماس سطحها المتوازيين بحيث يماس سطح المدير سطحها الظاهر والباطن. وتسمى هذه الكرة الفلك الحامل.

فاذا تحركت هذه الكرة دورة تامة رسم مركز المدير دائرة مركزها نقطة ك و هي الدائرة الوسطى المذكورة.

فاذا تحرك المدير على مركز ل رسم تدوير الكوكب اعني نقطة ه الدائرة الصغيرة التي في داخل كرة المدير اعني دائرة اس ه المذكورة.

فاذا تحرك الحامل تحركت نقطة ل محيط دائرة ل ن م الثالثة التي مركزها نقطة ك حركة مستوية فانها تدور بدورائها كرة المدير. فيدور بدوران كرة المدير مركز التدوير على دائرة اس ه الصغيرة على مركزها اعني نقطة ل حركة مستوية ايضا مستوية في السرعة لحركة نقطة ل.

فاذا انتقلت نقطة ل على دائرة ل ن م الى ن ثم الى م في نصف الايسر من دائرة ل ن م انتقلت نقطة ه على دائرة اس ه في النصف الايمن من دائرة اس ه الى نقطة ع ثم الى نقطة ح.

واذا تصورت هذا الامر على ما شرحناه فإن مركز المدير و مركز التدوير على اي وضع فرضناه. ووصلنا خطوط ك ف ن، د ز ع ص، ن ع ت الى محيط التدوير.

فاقول إن الخطي ك ف ن، د ز ع ص متوازيان.

برهانه ان قوس ل ن من دائرة ل ن م تكون في جميع اوضاع نقطة ل اعني ن من دائرة ل ن م شبيهة بقوس ف ع من الدائرة الصغيرة. فزاويتا ه ك ن، ف ن ع متساويتان. فخطا ك ن د ع متوازيان. فزاوية ا د ع مثل زاوية ل ن ك. فحركة نقطة ه اعني ع على مركز د شبيهة بحركة نقطة ل اعني ن على مركز ك في اي وضع وزمان فرض.

لكن حركة نقطة ن على مركز ك حركة مستوية فحركة نقطة ع على مركز د اعني مركز معدل المسير حركة مستوية. و هذه الحركة التي حصلت لنقطة ع على مركز د حركة مركبة من حركتي ل ه اعني ن ع المستويتين. فقد تبين ما قلنا انه متى تحركت نقطة ه بمجموع الحركتين المذكورتين حصل لها حركة مستوية بالنسبة الى نقطة د و مستوية في السرعة لحركة دائرة ل ن م.

فاذا فرض البصر على نقطة ق من خط ط ج وفرض بعده ط مساويا لبعد نقطة ط من نقطة د فإن هذه الابعاد متى كانت مقاديرها على وفق الاقدار التي وضعها بطلميوس لبعد مركزي الحامل المعدل من نقطة ق اعني مركز العالم في واحد من الكواكب كان ما يظهر من هذه الحركات موافقا لما يظهر له بالارصاد.

Tradução

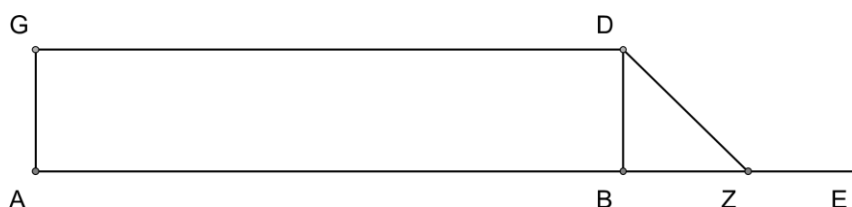
Voltemos ao nosso discurso sobre os orbes dos planetas e digamos:

Sobre o motivo pelo qual o centro do epiciclo parece ser transportado por um orbe excêntrico ao centro e o seu movimento parece ser uniforme em relação ao centro de um outro orbe, que não aquele que transporta, pelo movimento do epiciclo que Ptolemeu considera simples, mas [que] não o é. É um movimento composto por dois movimentos simples uniformes, em torno de dois centros distintos dos centros dos transportadores, quero dizer, o centro do deferente e o centro do equante – que ele mencionou.

Mas se o orbe do epiciclo se mover com dois movimentos, o que iremos descrever, então o movimento que se obtém da composição de ambos é um movimento uniforme [que] parece simples em relação ao centro do equante. Apresentemos um memorando útil:

Todas as linhas rectas sobre as quais desenhamos duas linhas rectas iguais no mesmo lado, de modo a formarem, entre os ângulos produzidos pela recta, dois ângulos iguais – quer o ângulo interior com o exterior, quer os dois interiores. As extremidades delas são, então, ligadas por uma linha recta que é paralela à linha sobre a qual se estenderam

Então estendamos, sobre a linha B , duas linhas AG e DB para que ambas contenham os ângulos iguais mencionados. Conecta-se a linha GD .



Digo, então, que a linha GD é paralela à linha AB . A prova é estender-se AB até ao ponto E . Então o ângulo exterior EBD é igual ao ângulo interior GAB , como nos primeiros casos e mostra-se que AG e DB , iguais, são paralelas. Logo, AB e GD também.

Mas se os dois ângulos iguais forem os interiores que estão no mesmo lado, quero dizer, o ângulo GAB igual ao ângulo DBA como os restantes casos, então produzimos uma linha recta do ponto D paralela à linha AG e ligamos a linha AB ao ponto Z .

Uma vez que AB é paralela a ZD , o ângulo GAB é igual ao ângulo DBZ e o ângulo DZB é igual ao ângulo DBZ . Logo, a linha DZ é igual à linha DB , quero dizer, paralela a ela. Assim, as linhas AB e DG são paralelas, e isto era o que queríamos mostrar.

Da mesma forma, se todos os dois círculos iguais intersectarem um plano e os seus centros se ligarem através de uma linha produzida nos dois sentidos para a circunferência, então marcamos um ponto no centro da linha que está entre o centro dos dois círculos e fazemos, desse ponto, o ponto central. Em torno dele circula um círculo cujo semidiâmetro é igual ao semidiâmetro dos dois primeiros círculos. Então a circunferência desse círculo corta os dois segmentos, que estão na recta que passa pelos centros e entre as duas circunferências, nos pontos médios.

Este [terceiro] círculo corta cada um dos dois primeiros círculos em dois pontos diferentes dos pontos de intersecção dos dois primeiros círculos.

Se fizermos um centro do ponto onde este círculo corta os segmentos da linha que está entre os dois círculos e desenharmos, sobre ele, um círculo pequeno tangente aos dois primeiros círculos, então o diâmetro desse círculo é igual à distância entre os centros dos dois primeiros círculos.

Quando o centro desse círculo pequeno se move sobre a circunferência do terceiro círculo, que está no meio dos três círculos iguais, até atingir a posição, nesta linha, diametralmente oposta a esta posição [inicial], então o círculo pequeno também se torna tangente aos dois círculos a que foi tangente interior e exteriormente, na primeira posição. Então, é exteriormente tangente ao círculo que a que foi internamente tangente, e inversamente em relação ao outro [círculo].

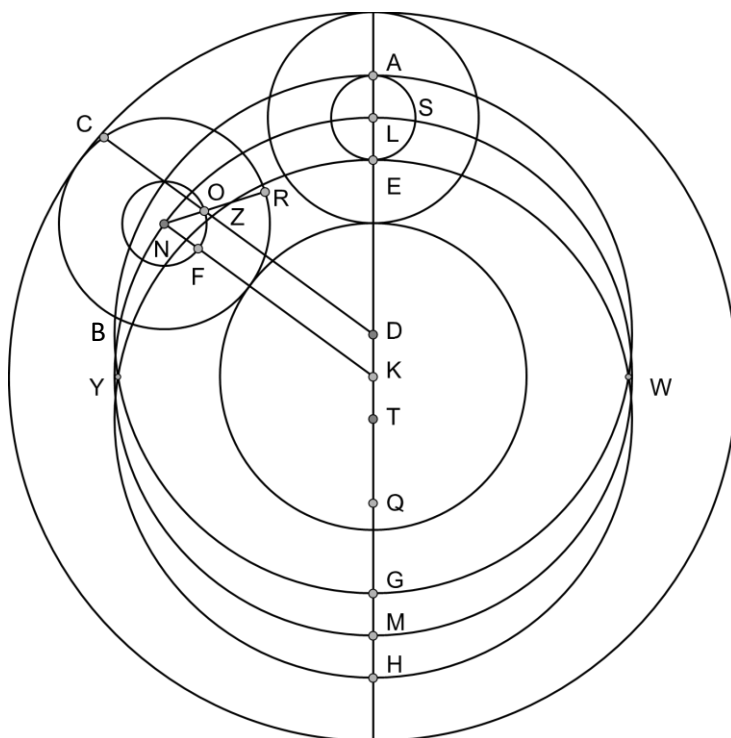
Se se imaginar o centro do epiciclo do planeta, transportado sobre a circunferência deste círculo pequeno e se supor [que o próprio círculo] se move no arco superior, em torno do seu centro na direcção dos signos do zodíaco, quero dizer, a direcção do movimento do centro, e inversamente no arco inferior; e se supor que os dois são movimentos iguais; e se supor que os dois primeiros círculos estão fixos; e se o observador for suposto estar sobre a linha que atravessa os centros e a distância dele ao centro de um dos dois primeiros círculos for igual à distância entre os centros de ambos; e se o centro do epiciclo do planeta for imaginado sobre o ponto onde o círculo pequeno é externamente tangente a um dos dois primeiros círculos, quero dizer, àquele cujo centro está mais próximo do ponto, e se o círculo pequeno se move; então move-se com o movimento dele o ponto de tangência, quero dizer, o centro do epiciclo, na direcção oposta à do movimento do centro. O centro do [círculo pequeno] move-se com o movimento do deferente dele e centro do epiciclo move-se com os dois movimentos, quero dizer, com a deslocação do centro do círculo pequeno e também com o movimento dele em torno do próprio centro. É um

movimento composto por estes dois movimentos que aparenta ser simples e uniforme no centro do círculo que está mais excêntrico ao lugar do observador e é chamado de equante.

Em relação ao centro do epiciclo, quero dizer, o ponto de tangência mencionado, ele aparenta ser carregado sobre o círculo cujo centro está mais perto do observador, pelo facto de o centro do epiciclo estar sobre esse círculo nas suas duas distâncias diferentes, quero dizer, a maior distância ao observador e a menor distância a ele.

Estando [o centro do epiciclo] muito próximo dele [do círculo cujo centro está mais perto do observador] nas restantes porções das suas distâncias, então Ptolemeu considerou que o centro do epiciclo é coincidente com a circunferência dele e descreve-o com o seu movimento.

Tomemos um exemplo para ilustrar [isto] muito claramente: Estejam dois círculos iguais intersectados num plano. O primeiro deles, que Ptolemeu tornou no círculo equante, tem sobre ele [os pontos] ABG e o centro dele é o ponto D . O segundo deles, que tornou no deferente do centro do epiciclo, é o círculo EZH e o centro dele é o ponto T . Intersectam-se sobre os pontos W e Y . Ligamos a linha DT , que atravessa os centros, e estendemo-la em ambas as direcções para as circunferências. Corte [esta linha] o círculo ABG , sobre os pontos A e G , e o círculo EZH sobre E e H . Então dividimos a linha DT ao meio no ponto K , tornamo-lo num centro, e fazemos um círculo em torno dele com uma distância DA , quero dizer, o semidiâmetro do primeiro círculo, e [marcamos] L , N e M . Então cortamos cada uma das linhas, AE e GH , ao meio sobre os pontos L e M .



Tornamos o ponto L num centro e, com a distância AL , desenhamos o círculo pequeno ASE sobre ele. Então, é internamente tangente ao círculo ABG , no ponto A , e externamente tangente ao círculo EZH , no ponto E . Esteja o ponto S no lado direito do círculo pequeno.

Então é evidente que o semidiâmetro deste círculo, quero dizer EL , é igual à linha DK , quero dizer, metade da linha que está entre os centros dos dois primeiros círculos, ABG e EZH .

Se imaginarmos que os dois primeiros círculos, ABG e EZH , estão fixos e que a esfera que contorna o epiciclo do planeta é tangente ao epiciclo, então o centro dela será o ponto L e essa esfera chama-se director.

Esteja esta esfera emersa na espessura de uma [outra] esfera cujas superfícies curvas e paralelas têm como centro o ponto K . Então [esta esfera] é tangente às superfícies paralelas dela, de forma a que a superfície do director seja tangente às suas superfícies exterior e interior. Essa esfera é chamada deferente.

Se esta esfera [i.e. o deferente] completar um ciclo, o centro do director descreve um círculo cujo centro é o ponto K – E este é o círculo central mencionado [em cima].

Se o director se mover em torno do centro L , o epiciclo do planeta, quero dizer, o ponto E , descreve o círculo pequeno que está na esfera do director, quero dizer o círculo ASE mencionado [em cima].

Se o deferente se mover, o ponto L move-se uniformemente na circunferência do terceiro círculo, LMN , cujo centro é o ponto K . Ele produz, então, o movimento da esfera do director. Com o movimento da esfera do director, o centro do epiciclo também se move uniformemente no círculo ASE e em torno do seu centro, quero dizer, o ponto L , com a mesma velocidade que o ponto L .

Então, se o ponto L se deslocar sobre o círculo LMN para N e depois para M , no lado esquerdo do círculo LMN , o ponto E desloca-se sobre o círculo ASE , no lado direito do círculo ASE , para o ponto O e depois para o ponto H .

Se imaginarmos esta situação de acordo com o que explicámos, tenham-se os centros do director e do epiciclo numa posição assumida. Liguem-se as linhas KFN , $DZOC$ e NOR à circunferência do epiciclo.

Então digo que as linhas KFN , $DZOC$ são paralelas.

A prova disto é que o arco LN , do círculo LMN , é semelhante ao arco FO , do círculo pequeno, em todas as posições do ponto L , quero dizer, N , do círculo LMN . Então os dois ângulos

EKN e FNO são iguais. Então as linhas KN e DO são paralelas. Então o ângulo ADO é igual ao ângulo LKN . Então o movimento do ponto E , quero dizer, O , em torno do centro D é semelhante ao movimento de L , quero dizer, N , em torno do centro K em qualquer tempo ou posição supostos.

Mas o movimento do ponto N , em torno de K , é um movimento uniforme, então o movimento do movimento de O em torno do centro D , quero dizer, o centro do equante, é um movimento uniforme. Esse movimento que resultou do ponto O em torno do centro D é um movimento composto pelos movimentos uniformes [dos pontos] L e E , quero dizer, N e O .

Demonstrou-se o que dissemos, que, quando o ponto E se move com a soma dos dois movimentos mencionados, apresenta um movimento uniforme em relação ao ponto D e com a mesma velocidade que o círculo LMN .

Então, se supusermos o observador no ponto Q , na linha TG e supusermos que a distância dele a T é igual à distância do ponto T ao ponto D , então estas distâncias, quando estão de acordo com o [que foi] determinado por Ptolemeu para as distâncias entre o centro do deferente e o centro do equante ao ponto Q , quero dizer, ao centro do universo, para qualquer planeta, então o que é aparente a partir destes dois movimentos está de acordo com o que lhe foi aparente por observação.

O Modelo da Lua de Ibn al-Shāṭir

كتاب نهاية السؤل

الباب التاسع

في أفلاك القمر وحركاتها طولاً وعرضاً على الوجه الصحيح السالم من الشكوك.

لَمَّا رُصد القمر، فوجد متحرّكاً على مدار غير مدار الشمس مقاطع له في موضعين متقابلين منتقلين في مدار الشمس إلى خلاف توالي البروج و ذلك المدار مائل عن مدار الشمس، وغاية الميل في الجهتين بمقدار واحدٍ ابدأً وذلك خمسة اجزاء بحيث يكون في نصف مداره شمالياً عن منطقة البروج وفي النصف الآخر جنوبياً عنها. فاعلم ان له فلك ممثّل بفلك البروج و فلك مائل عنه متقاطعان على نقطتين متقابلتين، فينصف احدهما للآخر.

و لَمَّا وجدت حركة القمر على الفلك المائل مختلفة بالبطئ والسرعة حول مركز العالم الذي هو مركز البروج، علم انّ له فلك مركزه على منطقة المائل بحيث إذا كان القمر في أعلاه كان ابعد عن مركز العالم وإذا كان في حضيضه كان اقرب اليه؛ علم ذلك باختلاف مقدار جرمه في الخسوفات والكسوفات وغيرها. فسمّى ذلك الفلك بالتدوير قديماً .

ثمّ وجد مقدار نصف قطر هذا الفلك في الاجتماعات والاستقبالات لا يزيد على خمسة أجزاء وسدس ابدأً عندنا، وعند بطليموس و عند ابرخس خمسة وربع، ثمّ وجد مقداره اذا كان بعد القمر عن الشمس ربع دائرة من الجهتين، ثمانين أجزاء. فعلمنا انّ على منطقة التدوير فلك آخر صغير، بحيث اذا كان القمر في الاجتماعات والاستقبالات يكون القمر في حضيض ذلك الفلك، وإذا كان في التربيعين كان في ذروته ويكون بعده عن مركز التدوير ثمانية أجزاء؛ و اذا كان في حضيضه، كان بعد القمر عن مركز التدوير خمسة أجزاء وسدس. وانّ حركته ضعف حركة حامل مركز التدوير بحيث اذا دار حامل التدوير ربع دائرة تحرك حامل جرم القمر نصف دائرة.

فعلمنا انّ له اربع أفلاكٍ واربع حركات بسيطة.

الفلك الأول، فهو الممّثل بفلك البروج، وقطباه محاذيان لقطبي فلك البروج، ومحدّبه مماسّ المقعر أفلاك عطارد، ومقعره مماسّ لمحدّب الفلك الثاني من أفلاكه، و نصف قطره تسعة وستين جزءاً.

والفلك الثاني فلك مائل، سطحه مائل عن سطح الممّثل ميلاً ثابتاً غايته خمسة أجزاء. ومركزه مركز العالم الذي هو مركز الممّثل، ومحدّبه مماسّ لمقعر الممّثل، ومقعره مماسّ لفلك النار على المشهور. نصف قطره بالفرض ستين جزءاً. ومنطقته التي على محدّبه تقطع منطقة الممّثل التي في مقعر على نقطتين متقابلتين، يسميان بالعقدتين والجوز هرين. إحداهما، اذا جازها القمر مال الى الشمال عن الممّثل، تسما الرأس والجوز هر والمجاز الشمالي؛ والآخر المقابل له يسما الذنب والمجاز الجنوبي. وقطبا المائل ملازمان لنقطتين من مقعر الممّثل ابدأً. وبعدهما عن قطبي الممّثل بمقدار غاية ميل المائل، الذي هو نهاية عرض القمر، وذلك خمسة أجزاء. ومقعر الفلك المائل، مركزه مركز العالم، ونصف قطره احد وخمسين جزءاً.

وأما الفلك الثالث، فنتوهم كرة نصف قطرها ثمانية أجزاء وستة عشر دقيقة وسبعة وعشرين ثانية من أجزاء التي بها نصف قطر منطقة المائل ستين جزئاً. ونفرضها مغرقة في المائل تماساً لمنطقته على نقطة. فنسميها بكرة التدوير.

وأما الفلك الرابع، فنتوهم كرة نصف قطرها جزئاً واحد واربعين دقيقة وسبع وعشرين ثانية من تلك أجزاء. و نفرضها مغرقة في جسم التدوير، وتماساً لمنطقته التي في سطح المائل على نقطة، وهي التي يماس عليها التدوير لمنطقة المائل. ويسمى هذا الفلك بالمدير. وفرض جرم القمر مغرقة في جسم المدير. يماس نقطة محدب القمر لمنطقة المدير التي هي في سطح المائل. وقطر كرة القمر وجد برصدنا اثنين وثلثين دقيقة وأربعة وخمسين ثانية من تلك أجزاء.

وأما الحركات، فالحركة الأولى، حركة الممثل: حركة بسيطة حول مركزه الذي هو مركز العالم و على قطبيه الى خلاف التوالي، بمقدار حركة الجوزهر، وهي ج ي لح كز. فينتقل بهذه الحركة الرأس، والذنب، وموضع نهاية عرض القمر، وجميع أفلاك القمر. وهذه الحركة، في الحقيقة، فضل حركة الجوزهر على حركة الكواكب الثابتة على قول.

والحركة الثانية حركة الفلك المائل حول مركزه الذي هو مركز الممثل ومركز العالم. وحول قطبيه الثابتين المتقدم ذكرهما، حركة بسيطة مستوية تفعل في الازمان المتساوية قسماً متساوية الى التوالي البروج بج نج مه لطم. وهي بقدر مجموع وسط القمر وحركة الجوزهر، وتسمى **حركة العرض** قديماً. فينتقل مركز التدوير الى التوالي عن المنطقة المتوهم ثباتها من فلك البروج، بمقدار وسط القمر، وهو بج ي له ا بج نج.

والحركة الثالثة حركة التدوير حول مركزه، وعلى قطبيه القائمين على سطح المائل، في اليوم بليلته بج ج نج مو بج. في أعلاه الى خلاف التوالي. و تعرف قديماً **بحركة خاصة القمر**. وابتدأها من ذرة التدوير المرئي.

والحركة الرابعة حركة المدير، وهي حركة بسيطة حول مركزه، فيتحرك القمر بحركته على منطقته التي في سطح منطقة المائل، في أعلاه الى التوالي. في اليوم بليلته كد كب نج كج. وهي بمقدار ضعف فضل وسط القمر على وسط الشمس. وابتداء هذه الحركة في الاجتماعات والاستقبالات الوسطي من حضيض المدير و تصير في الترييعين من ذروته. ولنفرض لبيان ذلك ان الشمس والقمر مجتمعان بالوسط في نقطة ثابتة من فلك البروج؛ ونفرض مركز التدوير ومركز المدير على الخط المستقيم المار بمركز العالم وبذلك النقطة المتوهم ثباتها من فلك البروج؛ ونفرض القمر في حضيض المدير، في ذلك الوقت، على ذلك الخط في اقرب قربه من مركز التدوير، وذلك خمسة أجزاء وسدس جزء.

ثم يتحرك كل فلك بما فرضنا له من الحركة البسيطة المرصودة.

- فيتحرك الشمس في اليوم بليلته ن ط ح ك الى التوالي.

- فيتحرك الممثل في اليوم بليلته الى خلاف التوالي ج ي لح كز فينتقل المائل والتدوير والمدير بهذه الحركة الى خلاف التوالي.

- ثم يتحرك المائل الى التوالي في ذلك الزمان يح يح مه ل ط م. فيصير بعد مركز التدوير على محاده النقطة الثابتة من فلك البروج الذي كانا النيرين اجتماعا فيها، في اليوم بليلته، بب با كو مال؛ وذلك بمقدار فضل حركة وسط القمر على وسط الشمس، ويسمى ذلك **بعد ما بين النيرين بالوسط**.

- ويتحرك المدير حول مركزه، فينتقل القمر من حضيض المدير، الى خلاف التوالي، في اليوم بليلته، ضعف البعد، وهو **كد كب نج كج**.

فبيعد جرم القمر عن مركز التدوير ويسمى ذلك البعد **نصف قطر التدوير المرئي**.

فاذا تحرك المائل بماله من الحركة ربع دائرة في سبع أيام وثمانية عشر دقيقة واربعة عشر ثانية وإثنين وخمسين ثلاثة وخمسة عشر رابعة من يوم بليلته، تحرك المدير في ذلك الزمان نصف دائرة، لكون حركته ضعف حركة البعد، فينتقل القمر من حضيض التدوير الى ذروته، ويصير بعد مركز جرم القمر من مركز التدوير ثمانية أجزاء، وذلك نصف قطر التدوير المرئي في التربيعةين الاول والثاني. فاذا تحرك المائل بتلك الحركة، في ضعف تلك المدة، نصف دائرة، صار مركز التدوير في مقابلة تلك النقطة الثابتة على الخط المار بتلك النقطة الثابتة وبمركز العالم من جهة مقابلة جزئ الاجتماع. فيكون في ذلك الوقت حقيقة استقبال الشمس والقمر بالوسط. ويتحرك المدير ضعف ما تحرك المائل، وذلك دائرة تامة، فينقل القمر الى حضيض المدير.

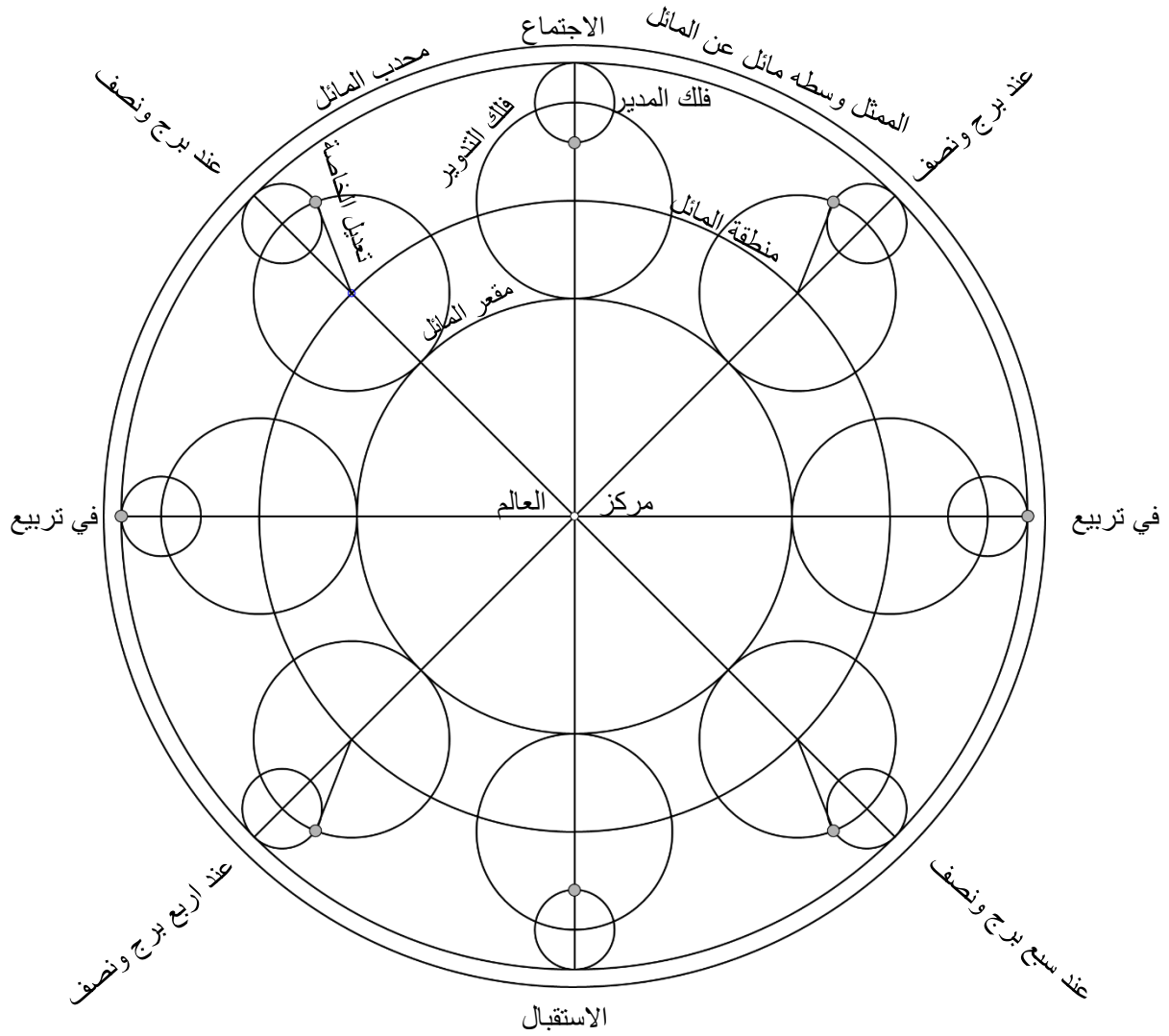
ويصير القمر في اقرب قربه من مركز التدوير ويصير نصف قطر التدوير المرئي في ذلك الوقت خمسة اجزاء وسدس ه ي، مثل ما كان في الاجتماع. فلا يزال نصف قطر التدوير المرئي في كل اجتماع وكل استقبال ه ي وفي كل تربيع ثمانية اجزاء، وكذلك وجد بالرصد في كل زمان.

ثم يتحرك التدوير بحركة الخاصة. فيدور مركز جرم القمر حول مركز التدوير في مدار نصف قطره ي، وكما قلنا، في كل اجتماع وكل استقبال. ويكون قوس ذلك **د نو كد** وهو غاية التعديل في كل اجتماع واستقبال، وذلك عند صيرورة القمر على الخط المماس للتدوير المرئي من الجانبين. فاذا كان مركز التدوير في التربيعةين كان بعد مركز جرم القمر من مركز التدوير ثمانية أجزاء، وهو نصف قطر التدوير المرئي في كل التربيع. ويكون قوس ذلك اذا فرض جيباً سبع اجزاء وثلاثي جزء. وهو كما وجدنا بالرصد في التربيع، وذلك عند كون القمر على الخط المماس للتدوير المرئي من الجانبين في التربيعةين.

ولكون نسبة حركة خاصة القمر الى حركة وسطه اصغر من نسبة الخط الواصل بين مركز العالم وحضيض التدوير المرئي، الى نصف قطر التدوير المرئي، لا يكون للقمر وقوف ولا رجوع، بل تصير حركته بطيئة في نصف الذروة وسريعة في نصف الحضيض، ولا يرى له رجوعه الى خلاف التوالي لصغر التدوير المرئي وقلة حركته بالنسبة الى حركة مائله.

وكون نصف قطر التدوير المرئي يختلف فيما بين خمسة وسدس الى ثمانية اجزاء، كأن اقدار البطء والسرعة غير متشابهة بل تختلف بحيث يعود البطء والسرعة او غيرهما من الاختلاف تارة الى الاقل وتارة الى الاكثر.

فهذه هي الأفلاك المتحركة للحركات البسيطة التي ينتج عنها الحركات المختلفة الموافقة للرصد في سائر الازمان.



و هذه صورة افك القمر و هي مدارات مراكز الاكر النامة على حسب ما يتصور على البسيط لاقامة البراهين و حساب التعاديل على انا صورنا فلك التدوير و المدير في ثمانية اماكن و تلك اماكن هي اجتماع و الاستقبال و التربيعة و في انصاف الارباع ليسهل تصور ذلك في كل مكان

Nihāya al-Sūl

Capítulo nono

Sobre os orbes da Lua e os seus movimentos longitudinais e latitudinais, livres de dúvidas

Quando se observa a Lua, descobre-se que se move numa trajectória diferente da do Sol, que a corta em dois lugares opostos que se deslocam na trajectória do Sol, no sentido contrário ao dos signos, e que essa trajectória, [na qual a Lua se move], está inclinada à do Sol. A inclinação máxima é sempre a mesma nos dois lados e são cinco partes, tal que, numa metade da sua trajectória, [a Lua] está a norte do cinto da eclíptica e, na outra, a Sul dela. Sabe-se, então, que para ela existe uma órbita pareclíptica e uma inclinada em relação a esta [que] se cortam em dois pontos opostos. Então, uma divide a outra.

Quando descobri [que] o movimento da Lua varia sobre o orbe inclinado, lenta e rapidamente, em torno do centro do universo – que é o centro da eclíptica – soube que o orbe do centro dele está sobre o cinto do inclinado, tal que, se a Lua estiver na sua parte superior, está mais distante do centro do universo e, se a Lua estiver no perigeu, está mais próxima dele. Sabe-se isto pela diferença de tamanho do seu corpo durante os eclipses da Lua e do Sol e noutras situações. Chamou-se a este orbe de epiciclo há muito tempo.

Então descobriu-se [que] a dimensão do semidiâmetro desse orbe durante as conjunções e oposições nunca ultrapassa as cinco partes e um sexto. [Este valor] temos nós, Ptolemeu e Hiparco têm cinco e um quarto. Descobriu-se, então, a sua dimensão: se a Lua estiver afastada um quarto de círculo do Sol em ambos os lados, tem oitenta partes. Então descobrimos que, sobre o epiciclo, existe um outro orbe pequeno, tal que, se a Lua estiver em conjunção e oposição, está no perigeu dessa órbita e, se estiver nas quadraturas, está no seu apogeu e afastada do centro do epiciclo oito partes. Se estiver no perigeu está afastada do centro do epiciclo cinco partes e um sexto. A velocidade dele, [do segundo epiciclo], é o dobro da velocidade do portador do centro do epiciclo, tal que, se o portador do epiciclo andar um quarto de círculo, a órbita que transporta o corpo da Lua move-se meio círculo.

Descobrimos que a Lua tem quatro órbitas e quatro movimentos simples.

O primeiro orbe é a pareclíptica. Os pólos dela estão alinhados aos da eclíptica, a sua parte convexa toca na côncava do orbe de Mercúrio e a sua parte côncava toca na convexa da segunda das suas orbes. O seu diâmetro é sessenta e nove partes.

O segundo orbe é o orbe inclinado e o seu plano está inclinado ao da pareclíptica com uma inclinação constante, onde o seu máximo são cinco partes. O seu centro é o centro do

universo, que é o centro da pareclíptica. A sua parte convexa é tangente à parte côncava da pareclíptica e a sua parte côncava é tangente à parte convexa do orbe do fogo, segundo a [doutrina] conhecida. O seu semidiâmetro é, por suposição, sessenta partes. O seu cinto, que está sobre a parte convexa, corta o centro da pareclíptica, que está na parte côncava, em dois pontos chamados, pelos antigos, de nodos. O primeiro deles, quando a Lua o passa inclinada para o norte em relação à pareclíptica, chama-se cabeça ou nodo ascendente. Ao segundo, que lhe está oposto, chamam-no cauda ou nodo descendente. Os pólos do orbe inclinado estão sempre ligados a dois pontos da parte côncava da pareclíptica. A distância destes aos pólos da pareclíptica é igual à dimensão máxima da inclinação do [orbe], que é a latitude extrema da Lua, que é cinco partes. A parte côncava do orbe inclinado, o centro dela é o centro do universo e o seu diâmetro é cinquenta uma partes.

E sobre o terceiro orbe, imaginamos uma esfera cujo semidiâmetro é oito partes e dezasseis minutos e vinte e sete segundos de partes, tal que o semidiâmetro do cinto do [orbe] inclinado seja sessenta partes. Supomos que está emerso no orbe inclinado, tocando no cinto dele num ponto. Chamamos a este orbe de epiciclo.

E sobre o quarto orbe, imaginamos uma esfera cujo semidiâmetro é uma parte, quarenta e um minutos e vinte e sete segundos dessas partes. Supomo-lo emerso no corpo do epiciclo e [que] toque o cinto dele, que está no plano inclinado, num ponto. É com este ponto que o epiciclo toca no cinto do deferente. Esse orbe chama-se director. Supomos que o corpo da Lua está emerso no director. O ponto convexo da Lua é tangente ao cinto que está no plano do [orbe] inclinado. O diâmetro da esfera da Lua foi descoberto, pelas nossas observações, ser trinta e dois minutos e cinquenta e quatro segundos dessas partes.

Em relação ao movimento dos planetas, o primeiro é o movimento da pareclíptica: um movimento simples em torno do seu centro (que é o centro do universo) e sobre os seus pólos no sentido contrário ao dos signos, com a dimensão do movimento dos nós, que é 0; 3,10,38,27. Com este movimento move-se a cabeça, a cauda, o lugar onde a latitude da Lua é máxima e todos os orbes da Lua. Este movimento, na verdade, é o excesso do movimento dos nós sobre o movimento das estrelas fixas.

O segundo movimento é o movimento do orbe inclinado em torno do seu centro (que é o centro da pareclíptica e o centro do universo) e em torno dos pólos fixos mencionados pelos antigos. É um movimento simples [e] uniforme que faz, em tempos iguais, dois arcos iguais no sentido dos signos, [de]: 13; 13,45,39,40 – que é igual à soma da Lua média e do movimento dos nós. Chama-se há muito tempo de movimento em latitude. Então, desloca-se o centro do epiciclo, no sentido dos signos, numa zona imaginária fixa na eclíptica, com a dimensão da Lua média, que é: 13, 10, 35, 1, 13, 53.

O terceiro movimento é o movimento do epiciclo em torno do seu centro e sobre os seus pólos, perpendiculares ao plano do [orbe] inclinado. Num dia e numa noite [completa] 13; 3,53,46,18 e, na sua parte superior, move-se no sentido contrário ao dos signos. Sabe-se há muito tempo ser o movimento próprio da Lua, [que] começa no apogeu do epiciclo aparente.

O quarto movimento é o movimento do director, que é um movimento simples em torno do seu centro. A Lua move-se com o movimento dele sobre o cinto dele (que é o plano do cinto do orbe inclinado) no sentido dos signos quando está na sua parte superior. Num dia e numa noite [o movimento dele é de] 24; 22, 53,23 e tem a dimensão do dobro do excesso da Lua média sobre o Sol médio. Este movimento começa no perigeu do director durante as conjunções e oposições e encontra-se no apogeu dele durante as quadraturas. Para mostrar isto, suponhamos o Sol médio e a Lua média em conjunção num ponto fixo da eclíptica. Suponhamos o centro do epiciclo e o centro do director sobre uma linha recta que atravessa o centro do universo e esse ponto imaginado fixo na eclíptica. Supomos a Lua no perigeu do director, nesse instante, sobre essa linha, na maior proximidade do centro do epiciclo – que são cinco partes e um sexto.

Então, cada orbe move-se com o movimento simples observado que lhes atribuímos:

- O Sol move-se num dia e numa noite 0; 59,8,20, no sentido dos signos.

- A pareclíptica move-se num dia e numa noite 0; 3,10,38,27, no sentido contrário ao dos signos. Então o [orbe] inclinado, o epiciclo e o director deslocam-se com este movimento no sentido contrário ao dos signos.

- O [orbe] inclinado move-se no sentido dos signos, ao mesmo tempo, 13; 13,45,39,40. Na proximidade do ponto fixo na eclíptica, onde os dois luminares estão em conjunção, a elongação do centro do epiciclo torna-se, num dia e numa noite, 12; 11,26,41,30 – que é a dimensão do excesso do movimento da Lua média sobre o [movimento] do Sol médio – e chama-se elongação média entre os dois luminares.

O director move-se em torno do seu centro (então a Lua desloca-se do perigeu do director) no sentido contrário ao dos signos com o dobro da elongação, ou seja, 24; 22,53,23 num dia e numa noite.

Então o corpo da Lua alonga-se do centro do epiciclo e chama-se a essa distância semidiâmetro do epiciclo aparente.

Se o orbe inclinado se move, com a sua inclinação, num movimento de um quarto de círculo em sete dias, dezoito minutos, catorze segundos, cinquenta e dois terços e quinze quartos de um dia e uma noite, então o director move-se, nesse período, meio círculo – porque o movimento dele é o dobro da elongação. Então, a Lua desloca-se do perigeu do epiciclo para o

seu apogeu e a elongação do centro do corpo da Lua desvia-se oito partes do centro do epícolo: é esse o semidiâmetro do epícolo aparente durante a primeira e a segunda quadratura.

Se o orbe inclinado se move meio círculo com esse movimento, com o dobro da duração, [então] o centro do epícolo torna-se oposto a esse ponto fixo, na linha que passa por esse ponto fixo e pelo centro do universo, no lado oposto ao da conjunção. Nesse instante existe uma oposição entre o Sol médio e a Lua média. O director move-se com o dobro [do movimento] do [orbe] inclinado – [isto é,] um círculo inteiro – e desloca a Lua para o perigeu do director.

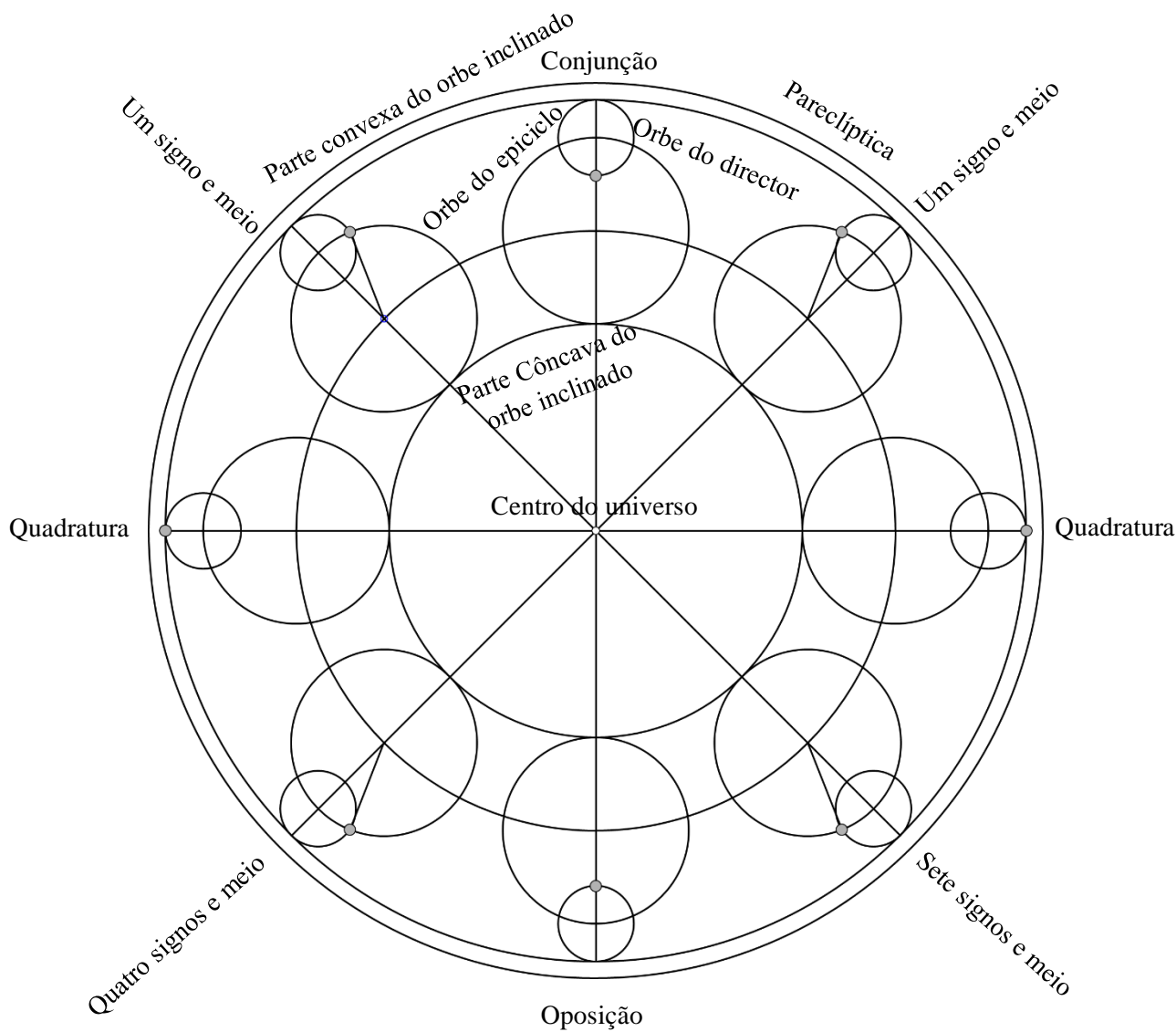
A Lua encontra-se na maior proximidade do centro do epícolo e o semidiâmetro do epícolo aparente, nesse instante, torna-se cinco partes e um sexto (5; 10), como durante a conjunção. Logo, o semidiâmetro do epícolo aparente é sempre 5; 10 em todas as conjunções e oposições e 8 partes em todas as quadraturas. Encontra-se assim, por observação, em qualquer altura.

Além disso, o epícolo move-se pelo próprio movimento. O centro do corpo da Lua circula em torno do centro do epícolo numa órbita cujo semidiâmetro é 5; 10, como dissemos em todas as conjunções e oposições. O seu arco de seno é 4; 56,24, que é a equação máxima em todas as conjunções e oposições pelo facto de a Lua estar sobre a linha tangente ao epícolo aparente, de um lado ou do outro. Então, se o centro do epícolo estiver nas quadraturas, a elongação do centro do corpo da Lua ao epícolo é oito partes: que é o semidiâmetro do epícolo aparente em todas as quadraturas. O seu arco de seno é sete partes e um terço. É assim que encontramos, por observação, durante as quadraturas, quando a Lua está sobre a linha tangente ao epícolo aparente de um lado ou do outro.

Como a razão entre o movimento próprio e o movimento médio da Lua é menor que a razão entre a linha que une o centro do universo ao perigeu do epícolo aparente e o semidiâmetro do epícolo aparente, a Lua não tem nem paragens nem retrogradações. Porém, o movimento dela é lento a meio do apogeu e mais rápido a meio do perigeu. Não se vê a Lua retroceder no sentido contrário ao dos signos por causa da pequenez do epícolo aparente e da insignificância do movimento em relação ao movimento do orbe inclinado.

O semidiâmetro do epícolo aparente difere entre cinco [partes] e um sexto e oito partes. É como se a dimensão da lentidão ou da rapidez não fosse constante, mas variável, de forma a que a lentidão, rapidez, etc. regressa, por vezes menor, por vezes maior, por causa dessa variação.

Então, estes orbes são movidos por movimentos simples que resultam em diferentes movimentos, compatíveis com a observação em qualquer altura.



Esta é a figura dos orbes da Lua e representa os movimentos dos centros das esferas completas, de acordo com o se imagina sobre o plano através das provas. Representámos o orbe do epiciclo e director em oito posições – nas conjunções, oposições, quadraturas e octantes – para facilitar a visualização disto em qualquer lugar.

O Modelo de Mercúrio de Ibn al-Shāṭir

كتاب نهاية السؤل

باب الحادي و العشرون

في هيئة أفلاك عطارد على مذهبنا الموافق للرصد

- نتوهم فلکاً في سطح فلك البروج و على قطبيه و مركزه، ويسمى الممثل.
- ونتوهم فلکاً ثانياً سطحه مائل عن سطح الممثل نصف و ربع درجة عند الأوج إلى جهة الجنوب، و هذا الميل ثابت. و على قول انه مائل سدس جزء و هو ثابت المائل: و هو الأصح. و سطح المائل يقطع سطح الممثل على نقطتين متقابلتين تسمى إحداهما الرأس و الأخرى الذنب.
- ونتوهم فلکاً ثالثاً مركزه على منطقة المائل، و نصف قطره أربعة أجزاء و خمس دقائق (بالأجزاء التي بها نصف قطر المائل ستون جزءاً)، و تسمى الحامل.
- ونتوهم فلکاً رابعاً مركزه على منطقة الحامل، و نصف قطره نصف و ثلث درجة، و يسمى المدير.
- ونتوهم فلکاً خامساً مركزه على منطقة المدير، و نصف قطره إثنان و عشرون جزءاً و ستاً و أربعون دقيقة (من تلك الأجزاء)، و تسمى فلك التدوير.
- ونتوهم فلکاً سادساً مركزه على منطقة التدوير، و نصف قطره ثلاث و ثلاثون دقيقة و يسمى المحيط.
- ونتوهم فلکاً سابعاً مركزه على المحيط، و نصف قطره مثل نصف قطر المحيط (و هو ثلاث و ثلاثون دقيقة)، و يسمى الحافظ.
- و عطارد مركز على منطقة هذا الفلك.
- و أما الحركات فإنه يتحرك على قطبي البروج، إلى التوالي، في كل سنتين سنة درجة، و ذلك مثل حركة الأجوات.
- و أما المائل فإنه يتحرك إلى التوالي، مثل حركة مركز عطارد، و هو مثل مركز الشمس : و هو في اليوم بليلته • نط ح ي.
- و أما الحامل فإنه يتحرك في أعلاه إلى خلاف التوالي، مثل حركة مركز عطارد أيضاً.
- و أما فلك التدوير فإنه يتحرك في أعلاه إلى التوالي بقدر فصل حركة خاصة عطارد على حركة مركزه: و هو في اليوم بليلته • ب ر يو • ط نا ل ن و ل ط . و هذا حركة بسيطة. و أما حركة خاصة عطارد، فإنه بسيطة مركبة، لأنها بقدر حركة هذا التدوير التي هي • ب ر يو • ط نا ل ن و ل ط مع حركة مركز عطارد التي هي • نط ح ي؛ و ذلك

لكون الحركتين إلى جهة واحدة. فيحصل مفارقة الكوكب للذروة، بقدر مجموع الحركتين، هي ج و ك دي الح ل كح مب؛ و هو حركة خاصة عطارد المركبة، و هي مستوية عند مركز التدوير.

ومما يزيد ذلك إيضاحاً: أنه تحرك المائل ربع دائرة، وتحرك الحامل ربع دائرة، وتحرك المدير نصف دائرة، انتقلت الذروة (التي هي مبتدأ حركة الخاصة) ربع دائرة إلى التوالي. وإنما وجد بالرصد أنها منتقلة، إلى التوالي مثل حركة الخاصة عطارد (التي هي ج و ك دي)، فيكون حركة التدوير حول مركزه، إلى التوالي، بعد فضل هذه الخاصة على حركة المركز (لكونها إلى جهة واحدة) فقد اتضح ذلك.

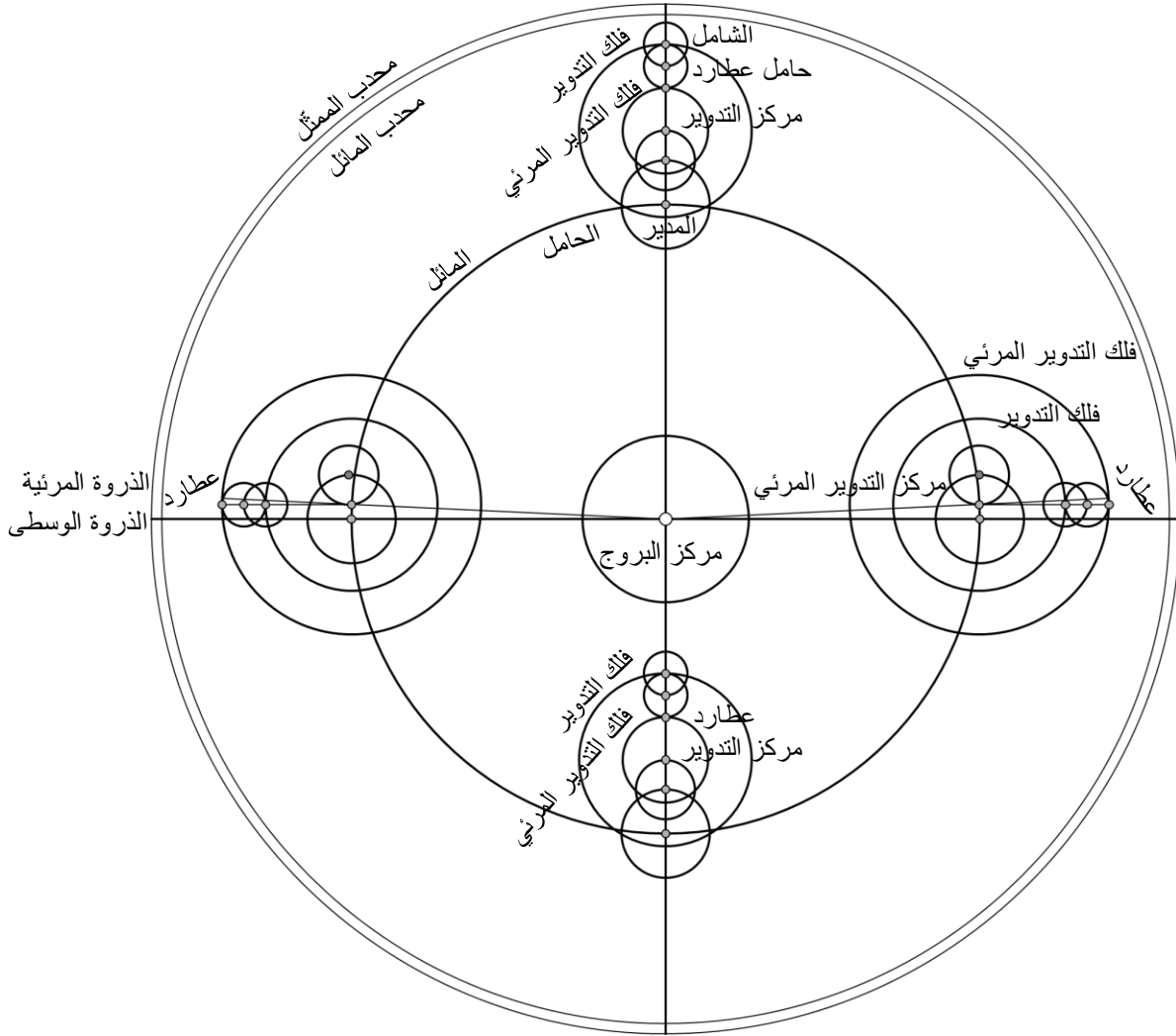
وأما الشامل فإنه يتحرك في أعلاه إلى التوالي، مثل ضعف حركة مركز عطارد: هو في يوم ا ن ح يوك.

وأما الحافظة فإنه يتحرك في أعلاه إلى خلاف التوالي، أربعة امثال حركة مركز عطارد: هو في يوم ج نولوم.

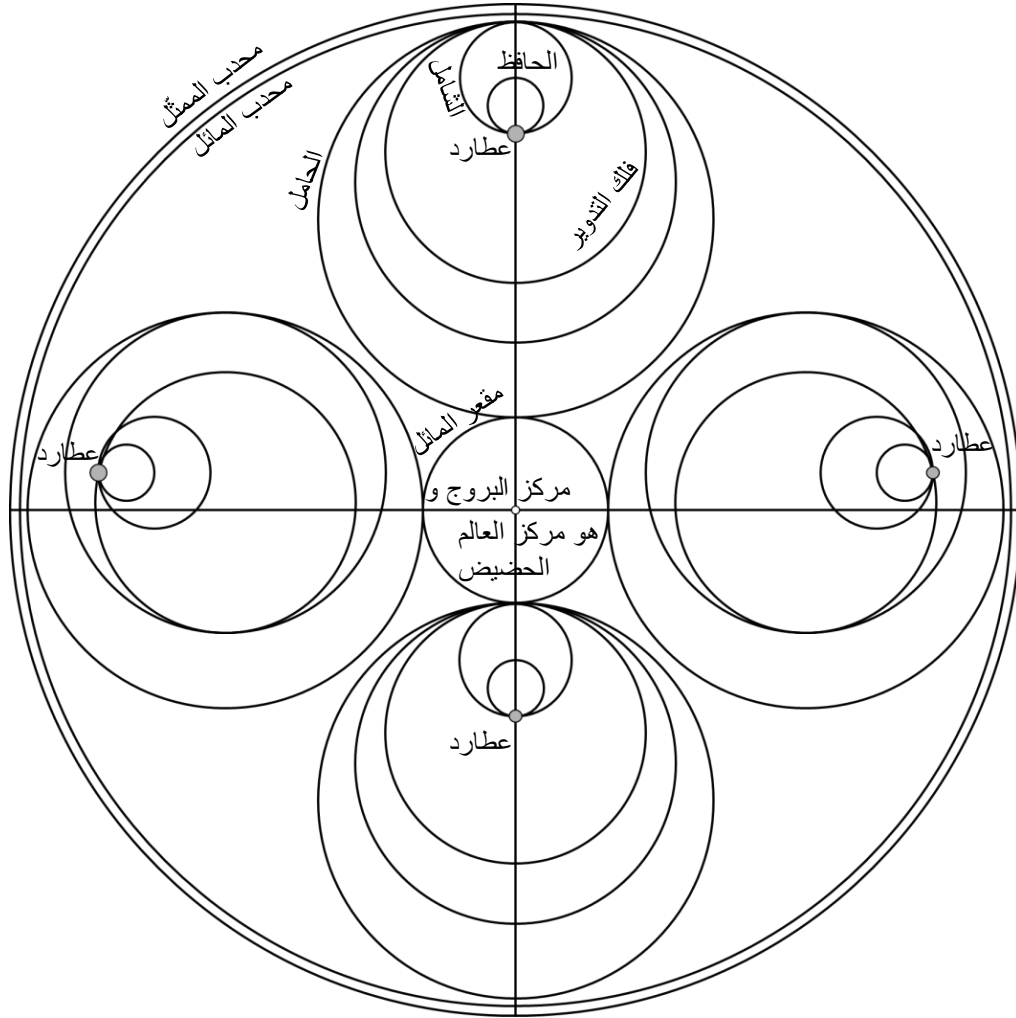
فلا يزال عطارد على الخط الخارج من مركز التدوير إلى مركز الشامل يقرب من مركز التدوير ويبعد؛ وهو على الخط غير خارج عنه. وإذا كان مركز التدوير في الأوج أو الحضيض كان عطارد في أقرب قرب من مركز تدويره و يسمى هذا القرب نصف قطر التدوير المرئي وهو احد وعشرون جزءاً وثلثي جزء. وإذا كان المركز ثلاث بروج، كان عطارد في أبعد بعده من مركز التدوير، وهو ثلاث وعشرون درجة و إثنان وخمسون دقيقة. فيكون أبعد بعده عطارد من مركز العالم سئة وثمانون وثلثي. أقرب قرب ثلاث وثلثين وثلثاً. إلا أن عطارد يقرب إلى أقرب قرب أفلاكه المجسمة، على ما أوضحنا قبل في غير موضع.

وأما اقدار الأفلاك المجسمة. فإن نصف قطر كرة الحامل كح نب، ونصف قطر كرة المدير كد مر ونصف قطر كرة التدوير كد نب، ونصف قطر كرة الشامل او ونصف قطر كرة الحافظ ل ج (الجميع بالاجزاء التي بها نصف قطر الممثل ستون جزءاً).

فيكون أبعد بعده الممثل ثمانية وثمانين وإثنين وخمسين دقيقة، وفوق ذلك سمك الممثل؛ ولنفرضه تنتمه فط. وأقرب قرب أفلاكه لا ج، وأقل من ذلك، باتصال الفلك؛ فنفرضه لا. والله أعلم.



هيئة أفلاك عطارد على أنها مركز الكرات النائمة على حسب ما يتصور على البسيط



هيئة أفلاك عطارد المجسّمة وهي كرات تامّة على حسب ما يتصوّر على البسيط في الأوج والحضيض والبعدين
الأوسطين

Nihāyat al-Sūl

Capítulo 21

Sobre a configuração dos orbes de Mercúrio segundo a nossa doutrina, compatível com a observação.

- Assumimos um orbe sobre o plano da eclíptica, sobre os pólos e centro dele. Chama-se pareclíptica.
- Assumimos um segundo orbe, cujo plano está inclinado ao [plano] da pareclíptica um meio e um quarto de grau no apogeu, na direcção sul, e [que] essa inclinação não é constante. Mas segundo uma doutrina, a sua inclinação é uma sexta parte e é constante: esta [doutrina] é a mais correcta. O plano inclinado corta o plano da pareclíptica sobre dois pontos: o primeiro chama-se a cabeça e o segundo a cauda.
- Assumimos um terceiro orbe, cujo centro está sobre o cinto da [órbita] inclinada e cujo semidiâmetro é quatro partes e cinco minutos (em tais partes que o semidiâmetro da órbita inclinada seja 60 partes). Chama-se deferente.
- Assumimos um quarto orbe, cujo centro está sobre o cinto do deferente e cujo semidiâmetro é um meio e um terço de grau. Chama-se director.
- Assumimos um quinto orbe, cujo centro está sobre o cinto do director e cujo semidiâmetro é vinte e duas partes e quarenta e seis minutos. Chama-se epiciclo.
- Assumimos um sexto orbe, cujo centro está sobre o cinto do epiciclo e cujo semidiâmetro é trinta e três minutos. Chama-se englobante.
- Assumimos um sétimo orbe, cujo centro está sobre o englobante e cujo semidiâmetro é como o semidiâmetro do englobante (que é trinta e três graus). Chama-se protector.
- Mercúrio centra-se no cinto dessa órbita.

Em relação aos movimentos. A pareclíptica move-se sobre os pólos da eclíptica no sentido dos signos, um grau em cada sessenta anos. Este movimento é como o movimento dos apogeus.

Em relação à órbita inclinada, ela move-se no sentido dos signos como o movimento de Mercúrio, que é como o movimento do Sol: num dia com a sua noite 0;59,8,10.

Em relação ao deferente, ele move-se na sua parte superior, numa direcção inversa à dos signos, também como o movimento de Mercúrio.

Em relação ao epiciclo, ele move-se na sua parte superior, na direcção dos signos, com a dimensão da diferença entre o movimento de Mercúrio e o movimento do centro dele: num dia com a sua noite 2;7,16,0,9,51,39,56,39. Este movimento é simples. O movimento próprio de Mercúrio é simples-composto porque tem a dimensão do movimento deste epiciclo, que é 2;7,16,0,9,51,39,56,39, com o de Mercúrio, que é 0;59,8,10. Esses movimentos têm o mesmo sentido. Então obtém-se a elongação do astro do apogeu, pela soma de ambos os movimentos, aque é: 0,3; 6,24,10,1,38,37,28,42. Este é movimento composto próprio de Mercúrio e uniforme em relação ao centro do epiciclo.

O que melhora esta explicação. Se o [orbe] inclinado se mover um quarto de círculo, o deferente se mover um quarto de círculo e o rodador se mover meio círculo, o apogeu é deslocado (o que é o princípio do próprio movimento) um quarto de círculo no sentido dos signos. Em relação a este, descobriu-se por observação que se desloca no sentido dos signos como o movimento próprio de Mercúrio (que é 0;59,8,10). Então o movimento do epiciclo em torno do seu centro é, no sentido dos signos, a diferença entre o próprio movimento e o movimento do centro (porque têm todos o mesmo sentido). Então este ficou clarificado.

O englobante move-se, na sua parte superior, no sentido dos signos como o dobro do movimento do centro de Mercúrio: que num dia são 1;58,16,20.

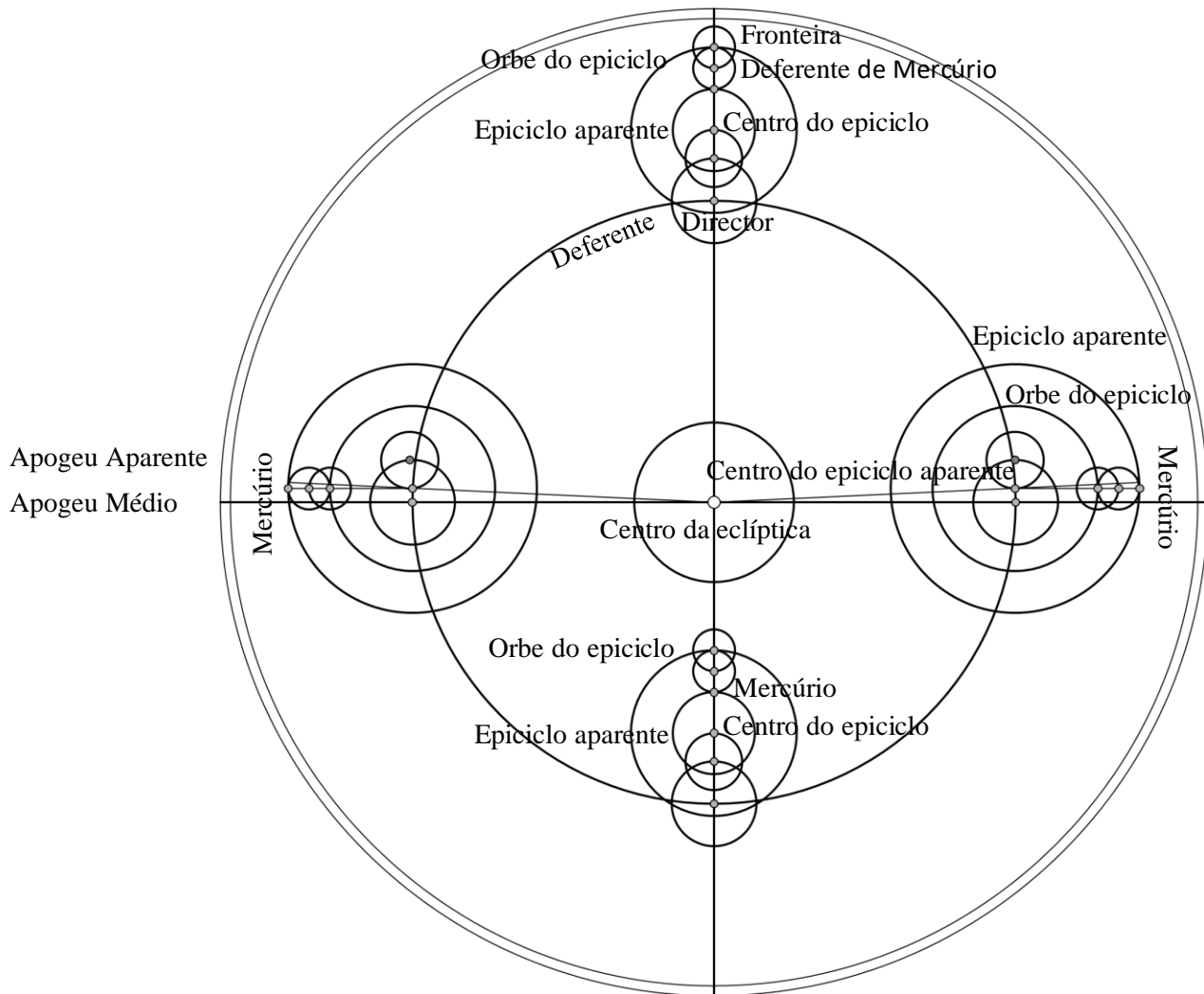
O protector move-se, na sua parte superior, no sentido inverso ao dos signos como quatro vezes o centro do Mercúrio, que num dia são 3;56,32,40.

Mercúrio está sempre na linha externa, [que vai] do centro do epiciclo ao centro do englobante, aproximando-se e afastando-se do centro do epiciclo. Está sobre a linha e não fora dela. Se o centro do epiciclo estiver no apogeu ou no perigeu, Mercúrio está na maior proximidade do centro do epiciclo e chama-se a essa proximidade semidiâmetro do epiciclo aparente, que é vinte e uma partes e dois terços de parte. Se o centro estiver a três signos [do apogeu], Mercúrio está à maior distância do centro do epiciclo, que são vinte e três graus e cinquenta e dois minutos.

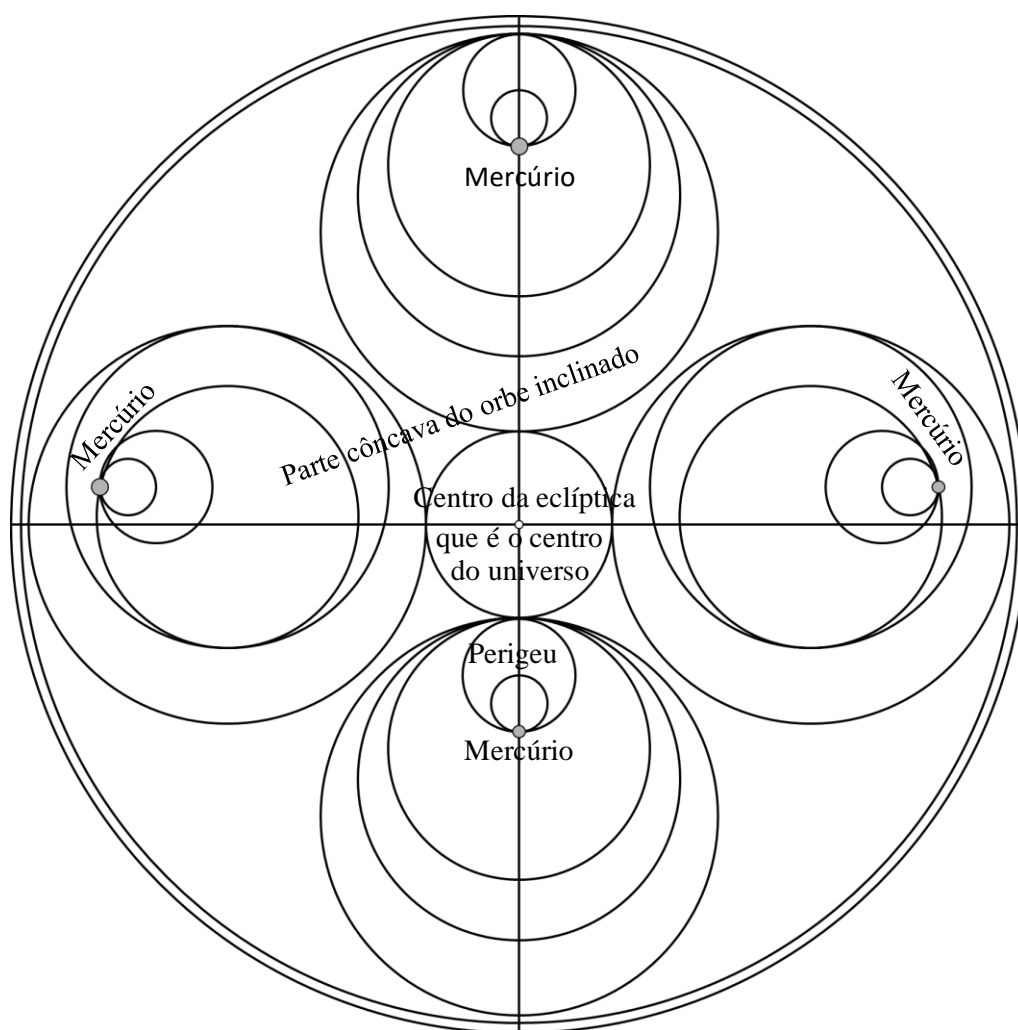
A maior distância de Mercúrio ao centro do mundo são oitenta e seis e dois terços. A maior proximidade são trinta e três e um terço. Mas Mercúrio não se aproxima dessa distância mínima nas órbitas sólidas – o que explicámos antes, noutro lugar.

Em relação às órbitas sólidas. O semidiâmetro da esfera do deferente é 28;52; o semidiâmetro da esfera do rodador é 24;47; o semidiâmetro da esfera do epiciclo é 23;52; o semidiâmetro da esfera do englobante é 1;6 e o semidiâmetro da esfera do protector é 0;33 (o conjunto das partes, que é o semidiâmetro da pareclíptica, é 60 partes).

A maior distância da pareclíptica são oitenta e oito [partes] e cinquenta minutos, sobre a qual está a espessura da pareclíptica e supusemos que completa 89. A maior proximidade dos orbes são 31;8 ou menos que essa pela continuidade dos orbes. Então, supusemo-la 31,0.



Configuração das órbitas de Mercúrio, representadas pelos centros das esferas completas de acordo com o que é imaginado sobre o plano



Configuração das órbitas tridimensionais de Mercúrio, que são esferas completas de acordo com o que se imagina no plano no apogeu e perigeu e nas elongações médias.